PROVINCE DE HAINAUT

UNIVERSITÉ DU TRAVAIL PAUL PASTUR
CHARLEROI

Division F2 — Ecole Technique Secondaire Supérieure

Travaux Pratiques d'Electrotechnique

621.31

PAR

FRANCIS GODART
INGENIEUR-TECHNICIEN A. I. T. C.
PROFESSEUR

Deuxième et Troisième années
Section : Electromécanique

1960

Travaux Pratiques d'Electrotechnique

621.31

PAR

FRANCIS GODART
INGENIEUR-TECHNICIEN A. I. T. C.
PROFESSEUR

Deuxième et Troisième années

Section : Electromécanique

Avant. Propos

Le cours de " Travaux Pratiques au Laboratoire d'Electrotechnique " s'adresse aux élèves de 2ème et 3ème années, section " Electromécanique ", de l'Ecole Technique secondaire finale.

Il remplit deux buts principaux:

1) la vérification des propriétés des machines électriques courantes, propriétés étudiées dans les cours théoriques.

2) l'exécution d'essais quantitatifs courants, rencontrés, soit aux plates-formes des usines de construction, soit sur des machines utilisées dans des ateliers et entreprises d'exploitation.

Quand et pourquoi exécute-t-on des essais de machines électriques ? Par qui sont-ils réalisés en pratique industrielle ?

Il suffit de parcourir un atelier de construction pour s'en rendre compte; lorsque la construction de la machine est terminée, celle-ci est livrée au service des essais, en vue de s'assurer de son fonctionnement normal et de vérifier les conditions imposées; là, se situe le rôle d'électriciens spécialisés. Naguère, les essais de machines étaient l'apanage du service des ingénieurs; aujourd'hui, les méthodes étant parfaitement établies, ils sont le plus généralement confiés à des agents techniques secondaires pour lesquels existe l'impérieux besoin d'être rompus aux montages, aux études de machines et à l'emploi d'appareils de mesure.

Les manipulations qui font l'objet de ces cours doivent permettre à nos élèves de franchir le premier pas dans cette voie; elles les habitueront en effet, à la mise en oeuvre des appareils de mesure courants et au montage des différents types de machines; elles aideront à la connaissance exacte du fonctionnement pratique de celles-ci.

Ces séances auront atteint leur objectif, si, en outre, elles confèrent à leurs participants l'assurance et l'habileté qui les rendront aptes à remplir avec succès leurs futures fonctions.

F.G.

Programme

2ème Année d'étude

A. Essais des Machines C.C.

a) DYNAMOS.

Câblage - Repérage des Bornes.

Mesures de résistances d'enroulements divers.

Vérification expérimentale des propriétés générales des dynamos C.C.

Essai en magnétisation des dynamos.

La commutation des dynamos.

Essai en charge de la dynamo à excitation indépendante.

Essai en charge de la dynamo Shunt.

Essai en charge de la dynamo Compound.

Essai en charge de la dynamo Série.

b) MOTEURS.

Vérification expérimentale des propriétés générales des moteurs C.C.

La commutation des moteurs C.C.

Courbe en charge du moteur Shunt.

Courbe en charge du moteur Compound.

Courbe en charge du moteur Série.

c) RENDEMENT DES MACHINES C.C.

Méthode de Swinburne appliquée à la dynamo shunt et au moteur shunt.

Essai à vide pour l'application de la méthode de Swinburne.

B. Manipulations diverses

Adaptation d'un voltmètre à un circuit de mesure.

Mesure d'un coefficient de self-induction (méthode de Joubert).

Mesure d'une puissance en C.A. (wattmètre) monophasé; détermination d'un facteur de puissance.

Essais sur tores magnétiques; courbes du flux et des pertes.

Mesure d'une puissance en C.A. triphasés:

méthode des 3 wattmètres avec neutre accessible

méthode des 3 wattmètres avec neutre artificiel

méthode des 2 wattmètres.

3ème Année d'étude

A. Mesures de Puissances

Révision des méthodes de mesure de puissances en C.A. triphasés.

B. Essais des Machines C.A.

a) TRANSFORMATEURS.

Exposé de la méthode de Kapp.

Mesure des résistances des enroulements d'un transformateur triphasé.

Mesure du rapport de transformation.

Essai à vide ou en magnétisation.

Essai en court-circuit.

Détermination des chutes de tension et tracé de caractéristiques externes.

Détermination de courbes de rendement.

Mise en parallèle de 2 transformateurs triphasés.

b) ALTERNATEURS ET MOTEURS SYNCHRONES.

Mesure des résistances ohmiques des enroulements.

Essai à vide ou en magnétisation.

Essai en court-circuit.

Essai en déwatté.

Essai en charge.

Prédétermination de la chute de tension et de l'excitation par la méthode de Potier.

Calcul du rendement de l'alternateur.

Essai à vide de l'alternateur fonctionnant en moteur synchrone; relevé de la courbe en V et de la courbe des facteurs de puissance.

Mise en parallèle de 2 alternateurs triphasés.

c) MOTEURS ASYNCHRONES.

Relevé du schéma d'enroulement du stator d'un moteur asynchrone triphasé.

Mesure des résistances des enroulements.

Vérification de l'inversion du sens de rotation résultant d'une interversion de deux phases.

Mesure du rapport de transformation à l'arrêt.

Relevé de la courbe de magnétisation.

Essai à vide et mesure du glissement par la méthode du millivoltmètre.
Séparation des pertes magnétiques et mécaniques; courbe de Hummel.
Essai du moteur en charge et mesure du glissement par la méthode stroboscopique.
Mesure du couple utile et de la puissance utile à la dynamo-frein.
Calcul du rendement.
Essai en charge du moteur asynchrône, synchronisé :

a) à couple constant

b) à excitation constante.

Introduction

I. Règlement d'ordre intérieur au laboratoire

Pour que le cours de manipulations atteigne pleinement son but, chaque élève doit se discipliner librement ce qui consiste à se conformer scrupuleusement aux règles suivantes :

a) il est interdit de mettre les machines, générateurs ou moteurs en action sans en avoir reçu l'autorisation du professeur ou de l'assistant du laboratoire.

b) il est interdit de toucher, même avec des outils isolés, toute partie métallique mise sous tension.

c) les connexions et bornes nues sous tension doivent être disposées de façon à être inaccessibles pendant les essais.

d) dans le cas des essais à haute tension, avec transformateurs d'intensité ou de potentiel, il est indispensable de connecter leur secondaire à la terre.

e) il est très dangereux (électrocution) et par conséquent strictement interdit d'ouvrir le secondaire d'un transformateur d'intensité alimenté au primaire.

f) les élèves sont répartis en plusieurs groupes autonomes; un chef de groupe sera désigné à chaque leçon; son rôle sera défini au cours.

g) au début de chaque séance, le chef de groupe doit vérifier si les appareils qui lui sont confiés sont complets et en bon état. Dans le cas contraire, il doit en aviser immédiatement le professeur ou l'assistant sous peine d'être rendu responsable des dégâts enregistrés.

h) à l'issue de chaque séance, les appareils et le matériel utilisés doivent obligatoirement être replacés à l'endroit qui leur est réservé.

i) il est recommandé que chacun prenne connaissance des secours à apporter à toute personne victime d'électrocution.

j) enfin, le port des vêtements flottants est interdit.

Je soussigné KHALLATI ahmed , élève de 2ème année, déclare avoir pris connaissance du présent règlement.

Signature de l'élève.

II Organisation des manipulations

Pour être fructueuse, toute mesure ou manipulation doit être conduite selon un plan méthodique que l'on peut scinder en 3 stades :

1) la préparation,
2) l'exécution
3) les résultats et conclusions.

Etude du plan d'essai

I. PREPARATION :

a) But de l'essai.

b) Machine étudiée.

Type et numéro de la machine essayée.

c) Schéma de l'essai.

Dessiner proprement le schéma complet du montage à réaliser, à moins que celui-ci ne figure déjà dans les notes explicatives.

d) Matériel utilisé.

Noter soigneusement la nomenclature du matériel mis en oeuvre avec indication du type et des numéros des appareils de mesure.

II. EXECUTION :

a) Montage.

Réaliser le câblage avec soin et élégance, en partant d'une extrémité pour aboutir à l'autre. Connecter complètement chaque instrument avant de s'occuper d'un suivant. Choisir à bon escient la section et l'isolement des fils de connexions en tenant compte de l'intensité approximative qui doit les parcourir et de la tension qui leur sera appliquée

b) Vérification.

Lorsque le montage est terminé, il faut le vérifier en s'aidant du schéma. Ne mettre le circuit sous tension qu'après contrôle par le professeur ou l'assistant.

c) Constantes des appareils.

Inscrire les constantes des appareils de mesure dans les cases des tableaux de résultats qui leur sont réservées (feuilles d'essais).

d) Essai proprement dit.

Exécuter l'essai et inscrire immédiatement au crayon tous les résultats de mesure à leur place sur la feuille d'essai, exactement comme on les a lus sur les échelles des appareils sans entreprendre de conversions.

e) Conversions et calculs.

Effectuer à l'encre les conversions et calculs après et non pendant la manipulation, à moins que les résultats de ces calculs ne soient indispensables pour la suite de l'essai.

III. RESULTATS ET CONCLUSIONS:

Le résultat d'une mesure se manifestera le plus couramment sous la forme d'un nombre d'unités de mesure, par exemple : 5 ohms, 0,1 Ampère, 4 watts, 6 volts ..... etc. Le résultat d'un essai se traduira sous la forme d'une courbe à tracer très soigneusement sur les feuilles de papier millimètré prévues à cet usage.

Choisir judicieusement les échelles.

Enfin, tirer les conclusions constituant en fait le trait d'union avec les notions enseignées aux cours théoriques.

Remarque: Les feuilles d'essais, les feuilles de papier millimètré et les feuilles de rapport d'essais accompagnent les notes explicatives fournies à l'occasion de chaque manipulation. Les feuilles de rapport d'essais fixent la matière des points I et III du plan d'étude, l'exécution faisant l'objet de la partie purement pratique des leçons.

Ces documents seront tenus régulièrement à jour avec ordre et soin.

Notes diverses.

1ère Partie

A.

Caractéristiques et Essais

des

Machines à courant continu

Installation et Schémas des générateurs et tables d'essais à courant continu.

I. Groupes générateurs

Pour réaliser les essais des machines C.C., le laboratoire d'Electrotechnique est équipé de deux groupes générateurs; chacun d'eux comprend :

a) un moteur asynchrône d'entraînement, alimenté par le réseau industriel triphasé (220 volts). Il est équipé d'un interrupteur tripolaire et d'un rhéostat rotorique de démarrage Rh1.

b) une dynamo principale dont l'induit est relié aux deux bornes d'entrée de la table d'essais; son enroulement d'excitation est alimenté par l'excitatrice du c) et contrôlé par un rhéostat de champ Rh2.

c) une excitatrice shunt dont l'enroulement inducteur est contrôlé par un autre rhéostat de champ Rh3.

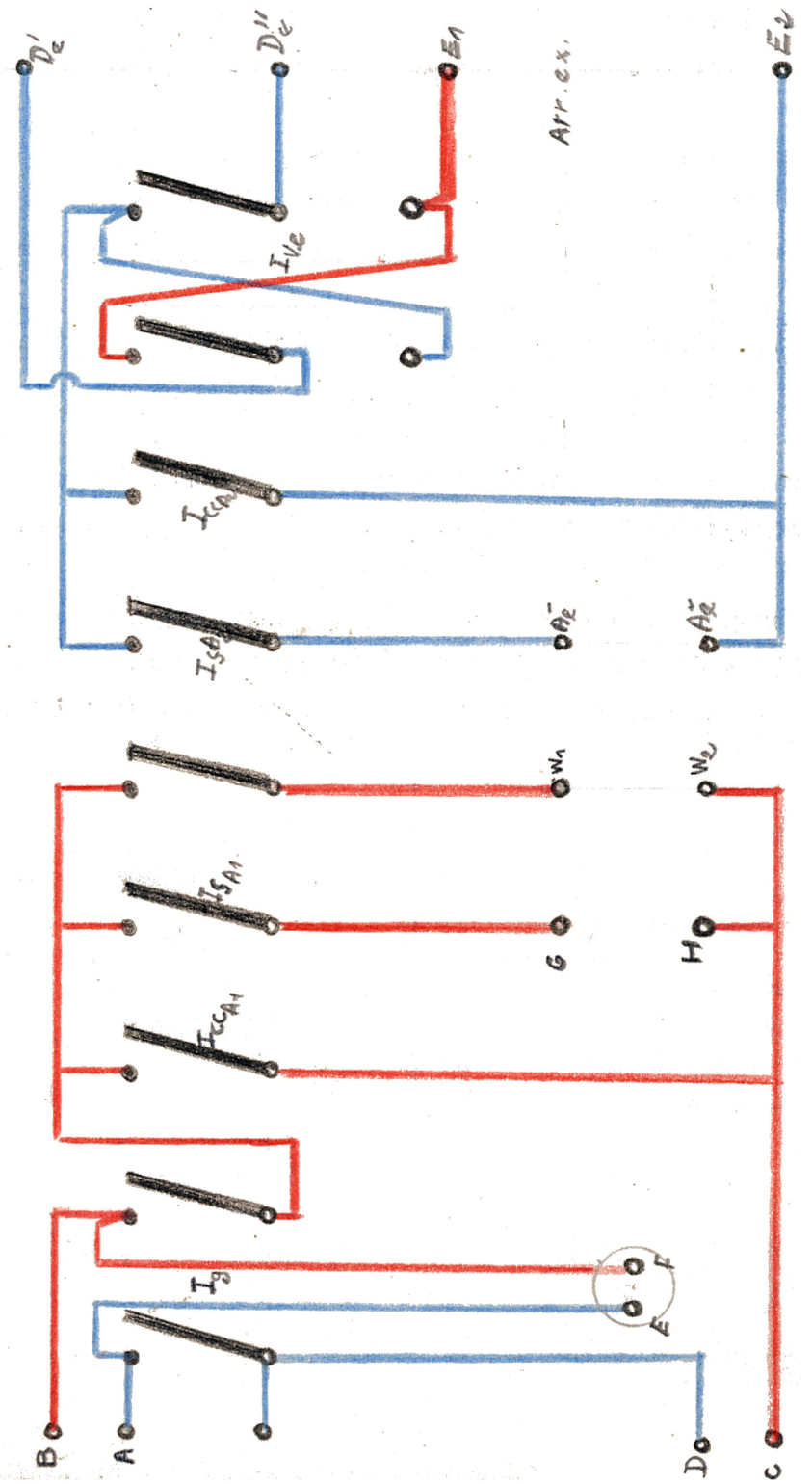
SCHEMA : Relever le câblage d'un des groupes et dessiner son schéma.

MODE D'UTILISATION :

Arrivée principale aux bornes : AB
Départ principal aux bornes : CD
Prise de tension à l'arrivée : EF
Interrupteur général : Ig.
Connexions pour ampèremètre principal A 1 : GH
Connexions pour wattmètre : W_1 W_2
Interrupteur de court-circuit de l'ampèremètre A 1 : I_{cc} A_1
Interrupteur de mise en service de l'ampèremètre A 1 : I_s A_1
Arrivée de l'excitation aux bornes : E_1 E_2
Départ de l'excitation aux bornes : D'_1 D''_2
Inverseur d'excitation : I-v a.
Connexions pour ampèremètre d'excitation A 2 : A'_2 A''_2
Interrupteur de court-circuit de l'ampèremètre A 2 : I_{cc} A_2
Interrupteur de mise en service de l'ampèremètre A 2 : I_s A_2

II. Schéma des connexions des tables C.C.

Dessiner le schéma des connexions des tables d'essais à courant continu avec les interrupteurs qui les équipent.



III. Démarrage et mise en service des générateurs

OPERATIONS SUCCESSIVES A REALISER :

1°) Vérifier la position convenable du rhéostat de démarrage Rh1, du moteur asynchrône (1er plot, grande résistance) ; vérifier que les bagues du rotor ne sont pas court-circuitées (interrupteur ouvert ou manette de relevage hors service); vérifier que l'interrupteur général de la table d'essais est bien ouvert.

2°) Enclencher l'interrupteur tripolaire général (boîtier métallique fixé sur le socle); le groupe démarre, sinon ouvrir l'interrupteur et vérifier.

3°) Amener lentement la manette du rhéostat tripolaire de démarrage Rh1 dans sa position de court-circuit.

4°) Court-circuiter les balais ou les bagues (selon la nature du moteur) et éventuellement relever les balais.

5°) Amorcer l'excitatrice (rhéostat d'excitation Rh3) et régler la tension à l'aide de Rh3 et de Rh2 (rhéostat d'excitation de la dynamo principale). Pour ce règlage, raccorder un voltmètre à la prise de tension de la table.

IV. Les machines C.C. d'essais

Le laboratoire dispose de 2 groupes de machines C.C. d'essais :

le 1er comporte : 1 machine shunt
1 machine compound
1 machine série

Le 2ème comporte : 1 machine shunt
1 machine compound

CARACTERISTIQUES GENERALES :

Relever les indications figurant sur les plaques signalétiques de ces machines. Noter ces indications ci-dessous.

Machine Shunt 1.	Machine Compound 1.
Type : CBV-55 SHUNT KW = 13 N° 12522 Volts : 250 Fon° 2225 Tours : 1450 Ampères : 72	Type : C.C.60. Série Ry.9218. KW = 3,5 N° 12521 Volts = 250 Tours = 1450. Ampères : 14.
Machine Shunt 2	**Machine Compound 2**
Type : UB. SHUNT N° 12641. KW = 10. Fon : 2563 Volts : 220. Tours : 1000 Ampères : 45,5	Type : C BV 55 Compound N° 12642 KW = 10 Fon : 2584 Volts : 220 Tours : 1000 Ampères : 45,5

Machine Série

Type UB, N° 12643 ; KW = 9/10. ; Fon : 2595 ;
Volts : 200/220 ; Tours : 1000 ; Ampères : 45,5 n.

Notes diverses.

1ère Manipulation

Repérage des Bornes et câblage des Machines C.C.

I. Examen des Plaques à Bornes

Les bornes des enroulements des machines C.C. sont désignées comme suit :

Enroulement d'induit : A. B.

Enroulement auxiliaire de commutation : G. H.

Enroulement d'excitation shunt : C. D.

Enroulement d'excitation série : E. F.

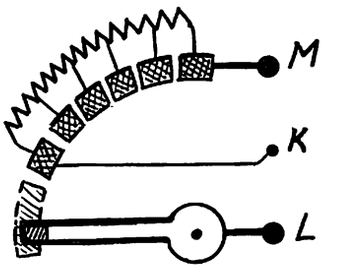
Remarque: L'enroulement d'excitation shunt est parfois scindé en deux groupes; la plaque porte alors 4 bornes shunt : C1, D1, C2, D2; les 2 demi-enroulements peuvent ainsi être connectés en série ou en parallèle selon la valeur de la tension qui les alimente (220 ou 110 volts).

II Examen des rhéostats

RHEOSTAT DE DEMARRAGE :

Comporte un nombre assez faible (6 ou 8) de plots de grande section; constitué de résistances de fil assez gros pour supporter l'intensité de démarrage. Porte un plot mort.

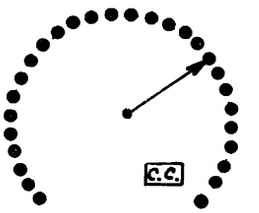
Muni de 3 bornes : 2 grosses pour le raccordement à la ligne (L) et au moteur (M) et une plus petite (K) à raccorder au rhéostat d'excitation (point commun)



RHEOSTAT D'EXCITATION :

Comporte un grand nombre de plots de faible section; constitué de fil assez fin, sa résistance totale est élevée (plusieurs centaines d'ohms).

Muni d'un indice de position de court-circuit.



III. Schéma des connexions

a) REGLES : 1) toute connexion des bornes d'un enroulement CD d'une machine à excitation indépendante, shunt ou compound doit être réalisée de façon telle que le courant qui va parcourir cet enroulement fournisse un flux

concordant avec le rémanent (condition d'amorçage de la machine auto-excitée montée en dynamo).

2) Il doit en être de même pour les connexions de l'enroulement EF d'une machine série.

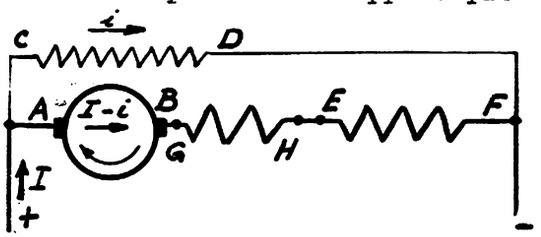
b) PROPOSITIONS : 1) Le rémanent sera supposé exister comme s'il avait été engendré par un courant d'excitation dirigé de C vers D pour les machines indépendante, shunt, et compound et de E vers F pour les machines série.

2) Sens de rotation : on supposera également que la machine connectée en moteur tourne dans le sens horlogique vue du côté collecteur, pour des courants circulant de A vers B dans l'induit et de C vers D dans les inducteurs shunt. Dans ce cas, on dit aussi que la machine tourne à droite.

3) Les courants des moteurs série tournant à droite sont dirigés de A vers B et de E vers F

4) Le flux shunt des machines compound est supposé prépondérant.

c) SCHEMA DE BASE : Dans ces conditions, le câblage des moteurs compound concordant tournant à droite s'établit comme ci-contre (rhéostats non représentés)



d) OPERATIONS A REALISER EN VUE DU TRACE D'UN SCHEMA DE CABLAGE QUELCONQUE.

A partir du schéma de base précédent, il est facile de concevoir le schéma des connexions d'une machine CC de n'importe quel type fonctionnant en dynamo ou en moteur dans un sens de rotation quelconque.

Pour cela, il faut effectuer les opérations suivantes :

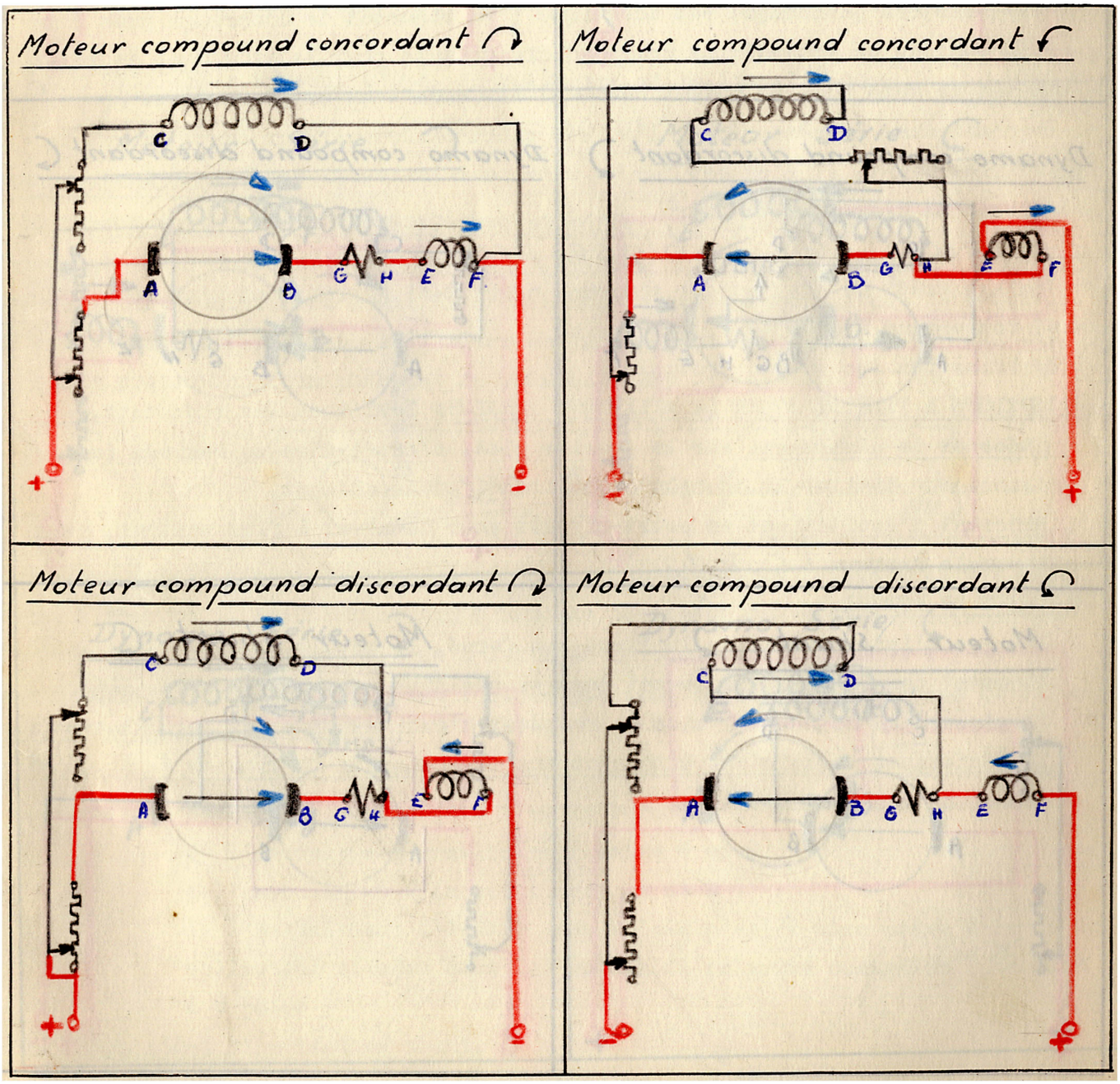
1) Représenter l'induit et les enroulements d'excitation
2) Indiquer le sens de rotation
3) Indiquer le sens du courant dans l'enroulement shunt qui, pour le respect du rémanent conventionnel sera dirigé de C vers D. S'il s'agit d'une dynamo série, le courant d'excitation (qui est aussi le courant d'induit) sera, pour la même raison dirigé de E vers F.
4) Indiquer, pour le cas d'une dynamo compound seulement, le sens du courant dans l'enroulement série : de E vers F pour un flux série concordant, de F vers E pour un discordant.
5) Déduire le sens du courant dans l'induit en fonction du sens de rotation et de la nature du fonctionnement (Dynamo ou moteur).
6) Raccorder les bornes entre elles selon le sens des courants établis.
7) Intercaler les rhéostats de démarrage et d'excitation tenant compte

que ce dernier est toujours raccordé en amont du précédent (point commun K)

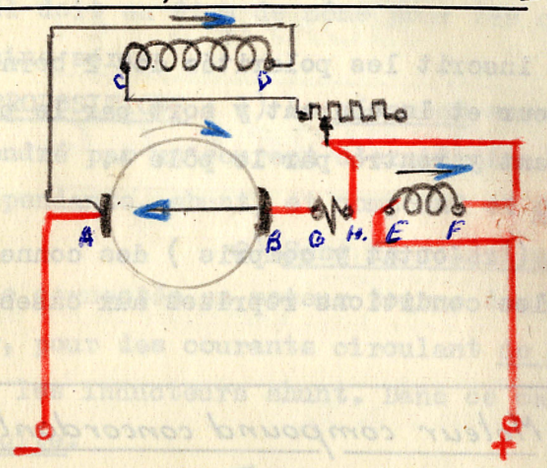
8) Raccorder à la ligne après avoir inscrit les polarités des 2 bornes de sortie; la dynamo est un générateur et le courant y sort par le pôle +; le moteur est un récepteur, le courant y rentre par le pôle +.

IV. Exercices

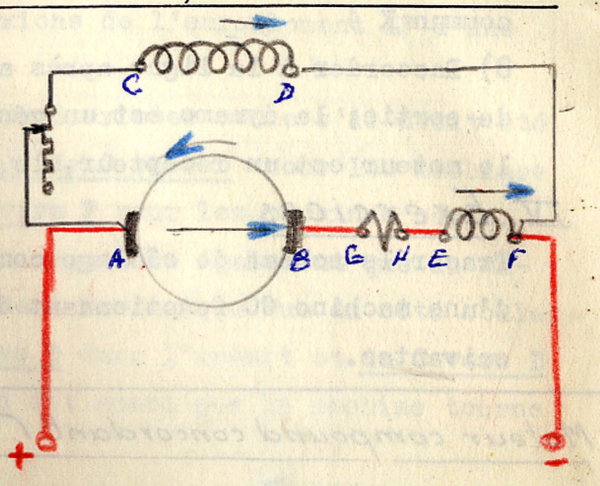
Tracer le schéma de câblage complet (rhéostat y compris) des connexions d'une machine CC fonctionnant dans les conditions reprises aux cases suivantes.



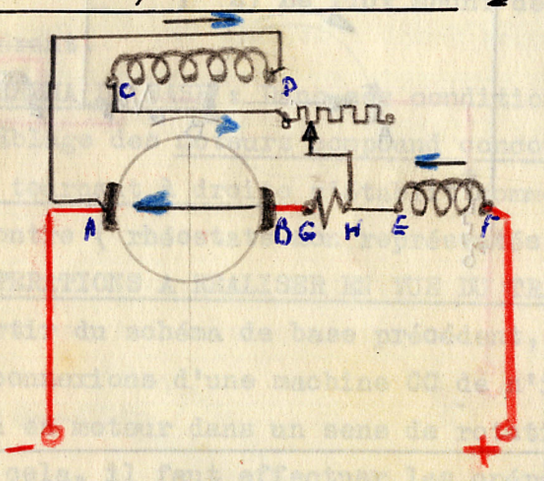
Dynamo compound concordant ↻



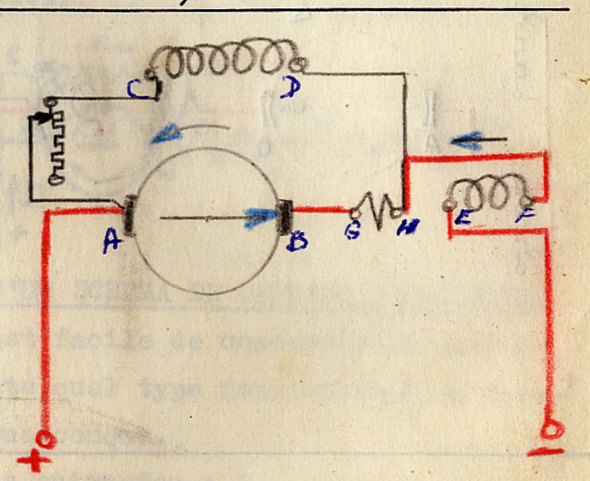
Dynamo compound concordant ↺



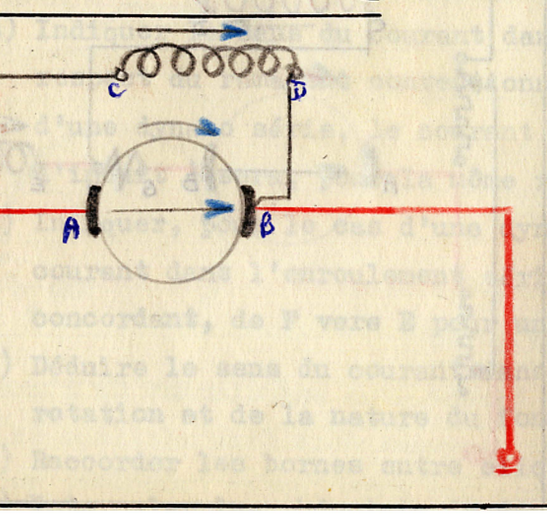
Dynamo compound discordant ↻



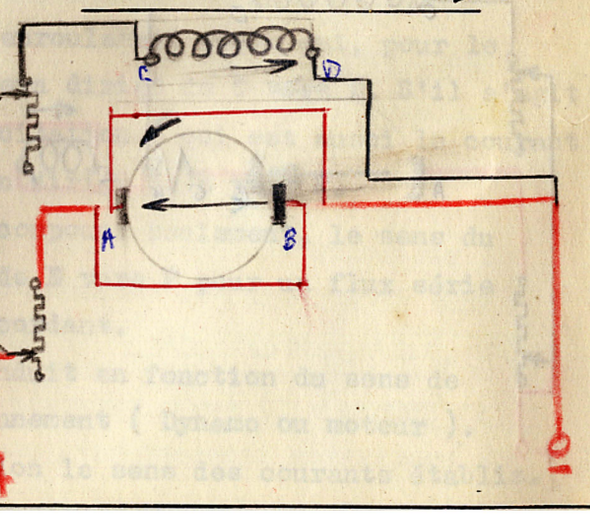
Dynamo compound discordant ↺

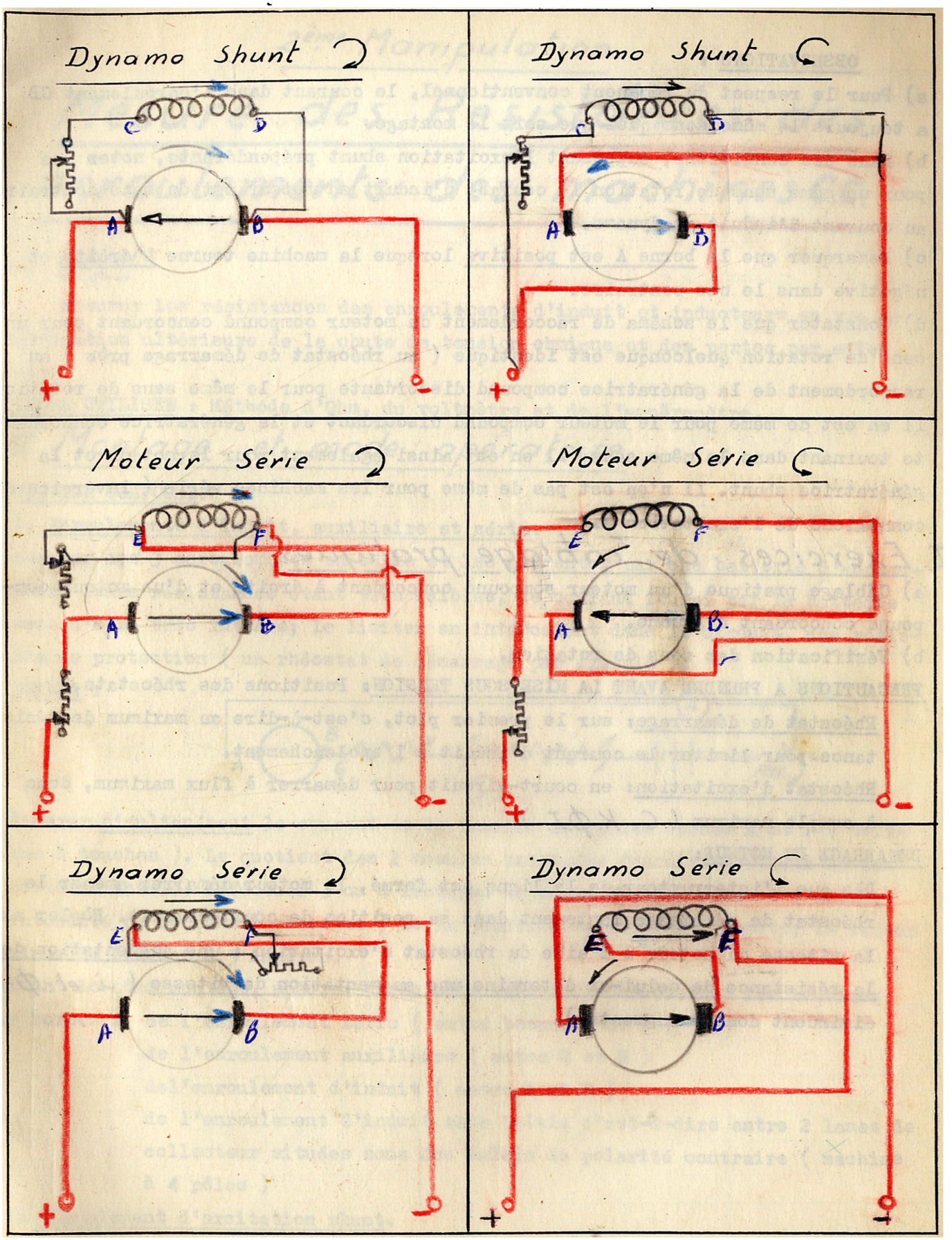


Moteur shunt ↻



Moteur Shunt ↺




Dynamo Shunt
C
D
A
B
+
-
Dynamo Shunt
C
D
A
B
+
-
Moteur Série
E
F
A
B
+
-
Moteur Série
E
F
A
B
+
-
Dynamo Série
E
F
A
B
+
-
Dynamo Série
E
F
A
B
+
-

OBSERVATIONS :

a) Pour le respect du rémanent conventionnel, le courant dans l'enroulement CD a toujours le même sens quel que soit le montage.

b) Dans ces conditions, supposant l'excitation shunt prépondérante, notez que pour un même sens de rotation le courant d'induit en moteur est de sens contraire au courant d'induit en dynamo.

c) Remarquer que la borne A est positive lorsque la machine tourne à droite et négative dans le cas contraire.

d) Constater que le schéma de raccordement du moteur compound concordant pour un sens de rotation quelconque est identique (au rhéostat de démarrage près) au raccordement de la génératrice compound discordante pour le même sens de rotation. Il en est de même pour le moteur compound discordant et la génératrice concordante tournant dans le même sens; il en est ainsi également pour le moteur et la génératrice shunt. Il n'en est pas de même pour les machines série (inversion des connexions de l'excitation).

V. Exercices de câblage pratiques

a) Câblage pratique d'un moteur compound concordant à droite et d'un moteur compound concordant à gauche.

b) Vérification des sens de rotation.

PRECAUTIONS A PRENDRE AVANT LA MISE SOUS TENSION: Positions des rhéostats.

Rhéostat de démarrage: sur le premier plot, c'est-à-dire au maximum de résistance pour limiter le courant d'induit à l'enclenchement.

Rhéostat d'excitation: en court-circuit pour démarrer à flux maximum, donc à couple maximum ($C = K.\phi.I$)

DEMARRAGE DU MOTEUR:

Dès que l'interrupteur de la ligne est fermé, le moteur démarre; amener le rhéostat de démarrage lentement dans sa position de court-circuit. Règler alors la vitesse du moteur à l'aide du rhéostat d'excitation : une augmentation de la résistance de celui-ci détermine une augmentation de vitesse (i et ϕ diminuent donc N augmente).

2ème Manipulation

Mesure des Résistances des enroulements des machines C.C.

I. Objet

Mesurer les résistances des enroulements d'induit et inducteurs en vue de l'évaluation ultérieure de la chute de tension ohmique et des pertes par effet Joule.

METHODE UTILISEE : Méthode d'Ohm, du voltmètre et de l'ampèremètre.

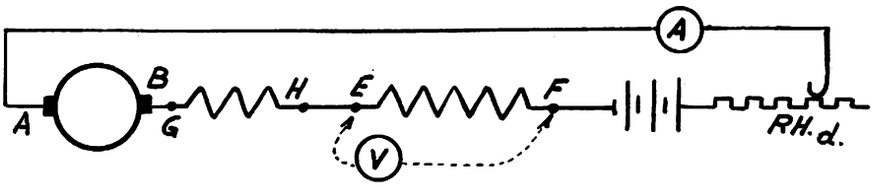
II Montage et mode opératoire

a) MACHINE COMPOUND.

1. Enroulements d'induit, auxiliaire et série.

Connecter ces 3 enroulements en série et les alimenter par une batterie d'accumulateur; leurs résistances étant très faibles, le courant fourni par la batterie risque d'être très intense; le limiter en intercalant dans le circuit, une résistance de protection (un rhéostat de démarrage par exemple).

SCHEMA :



Mesurer simultanément le courant et la tension entre les bornes A et F (voltmètre à touches). Le quotient des 2 mesures corrigées fournit la valeur de la résistance totale. Effectuer 3 ou 4 lectures en changeant, de l'une à l'autre, l'intensité de courant (rhéostat) et la position de l'induit. Limiter la valeur maximum du courant à 5 Ampères.

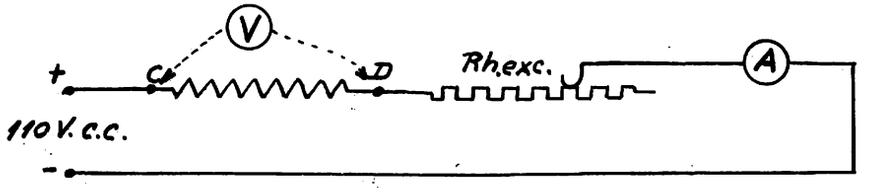
Gardant le même montage, mesurer de la même manière le courant et les tensions aux bornes : de l'enroulement série (entre bornes E et F)
de l'enroulement auxiliaire (entre G et H)
del'enroulement d'induit (entre A et B)
de l'enroulement d'induit sans balais c'est-à-dire entre 2 lames de collecteur situées sous des balais de polarité contraire (machine à 4 pôles)

2. Enroulement d'excitation shunt.

Cette résistance étant élevée (plus de 100 ohms) la batterie d'accumulateur ne

convient plus; alimenter par une source continue de 110 volts.

SCHEMA :



La résistance règlable utilisée est un rhéostat d'excitation (grande résistance) Effectuer également 2 ou 3 lectures.

b) MACHINE SHUNT.

Procédé de mesure identique (enroulement série absent)

Reproduire le schéma sur la feuille de rapport.

III Calculs et résultats

Les lectures et les valeurs corrigées en fonction des constantes des appareils seront consignées dans les tableaux des feuilles d'essais N° 1 et 2.

Déterminer ensuite les résistances à la température ambiante t (R_t à la température t). Calculer enfin les valeurs de ces résistances à chaud; pour la température de 50° supérieure à la température ambiante. $(t+50°)$

Formules:

$$R_{(t+50)} = R_{0°}\left[1+\alpha(t+50)\right]$$

$$R_t = R_{0°}\left[1+\alpha t\right]$$

d'où : $$R_{(t+50)} = R_t\,\frac{1+\alpha(t+50)}{1+\alpha t}$$

Pour le cuivre: $\alpha = 0{,}004$; αt étant négligeable vis-à-vis de 1, il reste:

$$\boxed{R_{(t+50)} = 1{,}2\,R_t}$$

Feuille d'essais n°s 1 et 2.

Mesure des résistances ohmiques

Enroulement	I lu	I corrigé	U lu	U corrigé	Temp°	$R = \frac{U}{I}$	$R_{à\ chaud}$	Observations.
	K = 0,05		K = 0,08					
Machine Compound n° 12642								
A. B.		4,75 4,25 3,5 ≠ 4,5	54,2 49 41	1,084 0,98 0,82 ≠ 0,96v.	21°C	$R = \frac{0,96}{4,5}$ 0,21 Ω	0,21 x 1,2 = = 0,252 Ω	On a vu qu'en mettant le voltmètre entre les balais, la tension était plus faible cela montre la chute de tension créée par la résistance de contact entre les balais frottants.
GH.		4,5	10 10 9	0,2 0,2 0,18	21°C	$\frac{0,19}{4,5} = 0,04$	0,048 Ω	
E F.		4,5.	4.	0,08	21°C	$\frac{0,08}{4,5} = 0,018$	0,012 Ω	
C D.	K = 0,01	0,37.	K = 1	106	21°C.	$\frac{105}{0,37} = 283$ Ω	283 x 1,2 = ≠ 339,6	
Machine Shunt n° 12641.								
AB.	K = 0,05 87	K 4,37	K = 0,02 112,5 107.	2,25v. 2,14v.	21°C.	$R = \frac{2,19}{4,37} = 0,5$ Ω	0,5 x 1,2 = 0,6 Ω	
GH.		4,37		0,207	21°C.	$R = \frac{0,207}{4,37} = 0,04$	0,04 x 1,2 = 0,048 Ω	
CD	K = 0,01	0,75A.	K = 1. 115	115v.	21°C.	$R = \frac{115}{0,75} = 153$	1,53 x 1,2 = 183,6 Ω	

Date : 24-10-61

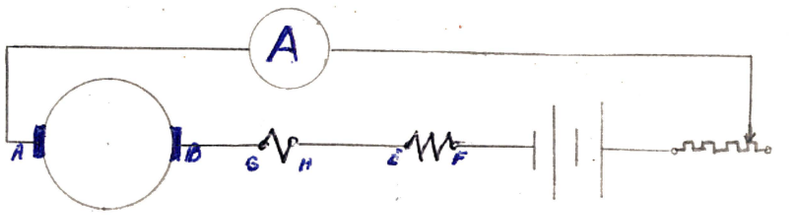
Rapport des essais n°s 1 et 2

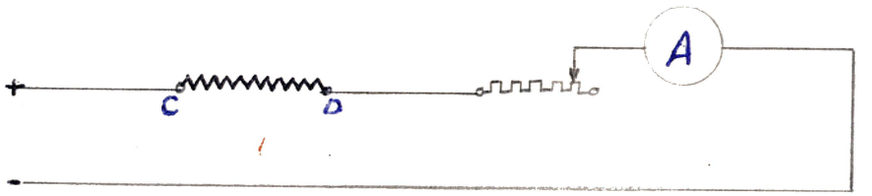
I. Préparation:

a) But des essais Déterminer les valeurs des résistances de chaque enroulement d'une dynamo à courant continu, etc. en appliquant une tension successivement aux bornes de chaque enroulement et en lisant le courant circulant dans chacun d'eux. R nous est donnée par la loi d'Ohm. $\frac{U}{I}$.

b) Machines étudiées Compound et Shunt.

c) Schémas





d) Matériel utilisé Résistat valeur.
Elements d'accus dont la f.e.m. est égale à.
Ampèremètre Sensibilité.
Voltmètre. Sensibilité

II. Exécution

Relever les tensions aux bornes des enroulements à lecture) pour AB. Mesurer la résistance entre 2 lames du collecteur après chaque balais.

III. Résultats:

AB	enroulement	d'induit	résistance faible
GH	"	auxiliaire	" faible
EF		série	"
CD	"	Shunt	élevée

3ème Manipulation

Vérification expérimentale des propriétés générales d'une dynamo

I. Objet

Vérifier que la valeur de la f.e.m. induite dépend du flux inducteur et de la vitesse de rotation de l'induit.

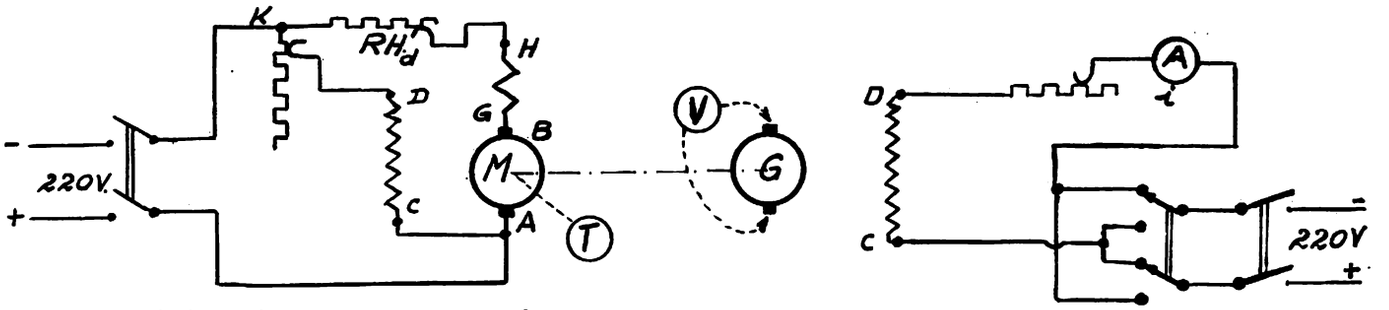
Vérifier que son sens dépend du sens de rotation et du sens du flux inducteur.

II. Schéma. Montage

Le moteur shunt accouplé mécaniquement à la génératrice est d'abord alimenté de façon à tourner à droite. Le rhéostat de démarrage et le rhéostat d'excitation contrôlent respectivement le démarrage et la vitesse.

L'excitation indépendante de la génératrice (220 volts) est contrôlée par un rhéostat d'excitation et un ampèremètre.

Un voltmètre est connecté aux bornes de l'induit de la dynamo.



III. Mode opératoire

a) PREPARATION.

1) Règler la tension d'alimentation du moteur prise à la table d'essais.

2) Vérifier les positions des rhéostats :

de démarrage du moteur : 1er plot (grande résistance)

d'excitation du moteur : en court-circuit.

d'excitation de la génératrice : en service sur sa position de résistance maximum

3) Fermer l'interrupteur d'alimentation (table d'essais).

4) Démarrer le moteur et règler son excitation pour réaliser une vitesse de 1.000 t/min. (compte-tours)

5) Fermer l'interrupteur du circuit d'excitation de la génératrice.

6) Intervertir le cas échéant les connexions du voltmètre

b) EXPERIMENTATION.

1) A vitesse constante (1.000 t/min.)

α) faire varier l'excitation de la dynamo depuis sa valeur minimum jusqu'à sa valeur maximum et constater les effets sur le voltmètre. (C → D)

β) inverser le sens de l'excitation de la dynamo et constater les effets (C ← D)

γ) réexciter la dynamo dans le premier sens pour lui rendre son rémanent normal.

2) A excitation constante

α) faire varier la vitesse du groupe et constater les effets sur le voltmètre

β) câbler le moteur de façon à inverser son sens de rotation et constater les effets (rotation à gauche)

3) Inversion simultanée des sens de rotation et d'excitation

α) le moteur tournant toujours à gauche, inverser de nouveau le sens de l'excitation (C ← D); constater les effets.

β) réexciter la dynamo dans le sens C → D.

Toutes les constatations seront consignées dans le tableau de la feuille d'essai 3.

IV. Résultats

La valeur de la F.E.M. induite croît lorsque le courant d'excitation (donc le flux inducteur) augmente.

Le sens de la F.E.M. induite dépend du sens du flux inducteur et du sens de rotation.

L'inversion de l'un ou de l'autre de ces 2 facteurs inverse le sens de la F.E.M. induite.

L'inversion simultanée des 2 facteurs n'inverse pas le sens de la F.E.M.

OBSERVATION: En faisant varier l'excitation de la génératrice entre les limites recommandées, on évite le phénomène de saturation des inducteurs et on pourra conclure plus aisément à la proportionnalité de la F.E.M. induite et du flux inducteur puisque celui-ci est proportionnel au courant d'excitation.

Les variations quantitatives de la F.E.M. en fonction du courant d'excitation font l'objet de l'essai N° 4.

Feuille d'essai n° 3

Propriétés générales des dynamos

Vitesse N	Excitation i		Sens de rotation	F.e.m. induite		Observations
	sens	variation		sens	variation	
				A H		
1000 t	D→C	↗	↘	− +	↗	120 v
1000 t	D→C	↗	↘	− +	↗	130 v
1000 t	C→D	↗	↘	+ −	↗	100 v
1000 t	C→D	↗	↘	+ −	↙	130 v
900 t	C→D	— (constante)	↘	+ −	↗	
1100 t	C→D	—	↘	+ −	↗	

Date : 7 - 11 - 61

Rapport de l'essai n° 3

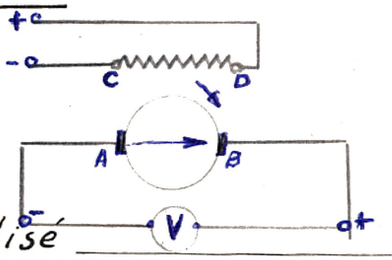
I. Préparation

a) But de l'essai

Vérifier que la valeur de la f.e.m. induite dépend du flux inducteur et de la vitesse de rotation de l'induit

b) Machine étudiée 12641 - 12641

c) Schéma



d) Matériel utilisé

2 Rhéostats d'excitation.
1 Rheostat de démarrage.
1 Voltmètre.
1 Ampèremètre
1 Tachymètre.

II Exécution

Vitesse constante, faire varier l'excitation pour constater les effets ou (V) à excitation constante faire varier la vitesse et constater les effets ou

III Résultats et Conclusions

La vitesse augmente plus le courant d'excitation augmente plus la f.e.m augmente

La f.e.m est ÷ à N et à l'excitation

Le sens de E s'inverse avec le sens de rotation et aussi avec le courant d'excitation

4ème Manipulation

Essai en magnétisation

I. Objet

Etude quantitative de la variation de la F.E.M. induite en fonction du courant d'excitation.

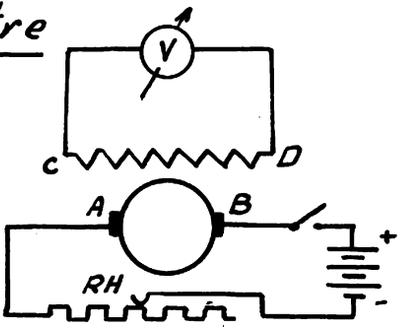
II Caractéristique à vide

Cette caractéristique est la courbe qui montre la relation existant entre la F.E.M. E et le courant d'excitation i pour une vitesse donnée maintenue constante N et un courant débité nul; elle est indépendante du mode d'excitation.

$$E = f(i), \quad N = \text{constant}, \quad I = 0$$

Puisque la F.E.M. induite dépend de la position des balais, il faut au préalable, dans le cas des machines pourvues d'un dispositif de décalage des balais, veiller à ce que ceux-ci soient situés exactement dans l'axe de la ligne neutre; c'est dans cette position que la F.E.M. recueillie est maximum. Ceci conduit à repérer la position de cet axe.

III. Repérage de la ligne neutre

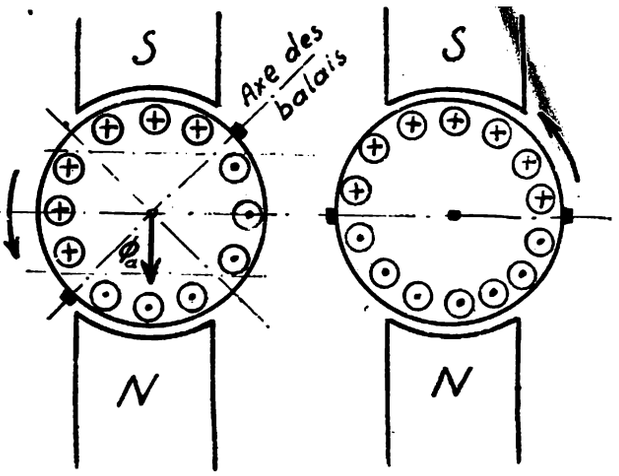


a) SCHEMA & MONTAGE:

On alimente l'induit par une tension continue faible: batterie d'accumulateurs; un rhéostat (de démarrage) limite le courant débité à une valeur non préjudiciable pour la batterie (5 A). Un interrupteur permet d'établir et d'interrompre le courant d'induit. Aux bornes de l'inducteur, on branche un voltmètre.

b) MODE OPERATOIRE:

Placer les balais nettement hors de la ligne neutre, par exemple à gauche.
Etablir le courant: une impulsion lance l'aiguille du voltmètre par exemple vers la droite puis l'aiguille revient à zéro.
Supprimer le courant dans l'induit: l'aiguille est lancée dans le sens contraire.
Déplacer alors la ligne des balais pour trouver, après tâtonnements, une position pour laquelle l'aiguille du voltmètre ne bouge plus lors de l'établissement et de la rupture du courant d'induit; les balais se trouvent alors sur la ligne neutre.



c) JUSTIFICATION:

Lorsque les balais sont hors de la ligne neutre, le courant d'induit produit un flux antagoniste ϕ_a dont l'établissement et la suppression produisent l'induction de F.E.M. dans les enroulements inducteurs. Quand les balais sont sur la ligne neutre, le flux antagoniste est nul quel que soit le courant d'induit.

d) REMARQUE:

On pourrait également alimenter les inducteurs par du courant interrompu et brancher le voltmètre aux bornes de l'induit; cette solution, théoriquement valable, peut parfois faire apparaître des tensions de self-induction dangereuses dans les inducteurs.

IV. Schéma et Montage

a) ESSAI A VIDE DE LA DYNAMO COMPOUND:

Montage et équipement identiques à ceux de la troisième manipulation.

b) ESSAI A VIDE DE LA DYNAMO SHUNT:

La machine compound est montée en moteur compound entraînant la machine shunt câblée en dynamo à excitation indépendante.

V. Mode Opératoire

a) PREPARATION:

Voir les 4 premiers points de la 3ème manipulation.

b) EXPERIMENTATION:

1) La vitesse étant de 1.000 t/min., lire la tension induite due au rémanent

2) Régler le rhéostat d'excitation de la génératrice au maximum de résistance et fermer l'interrupteur d'excitation; ou bien la F.E.M. induite s'accroît et on peut continuer l'essai, ou bien elle diminue et il y a lieu d'inverser le sens de l'excitation, de la couper, de lire et rectifier la valeur de la F.E.M. induite due au rémanent et de refermer le circuit d'excitation.

3) Varier l'intensité d'excitation par valeurs croissantes. Lire simultanément les valeurs de la vitesse N (constante), de la F.E.M. induite E et du courant d'excitation i_p

4) Après cette première série de lectures, effectuées par valeurs croissantes, exécuter une seconde série par valeurs décroissantes.

c) REMARQUES:

1) Lorsqu'on monte en excitation, il est interdit de revenir en arrière (hystérésis); lorsqu'on descend en excitation, la même restriction existe.

2) Les lectures devant être simultanées, trois opérateurs sont nécessaires : l'un lit la vitesse et donne le " top ", un autre lit l'excitation, un troisième lit la tension aux bornes.

3) Si, pour une raison quelconque, il n'est pas possible de maintenir la vitesse N constante, il suffit de lire la nouvelle vitesse N', et d'apporter une correction à la valeur mesurée de la F.E.M. E'; on sait en effet que :

$$E = KN\Phi \quad et \quad E' = KN'\Phi$$

d'où la relation : $E\,(\text{à } 1.000\,t/min) = E'(lue) \times \frac{N}{N'} = E' \times \frac{1.000}{N'}$

VI Résultats

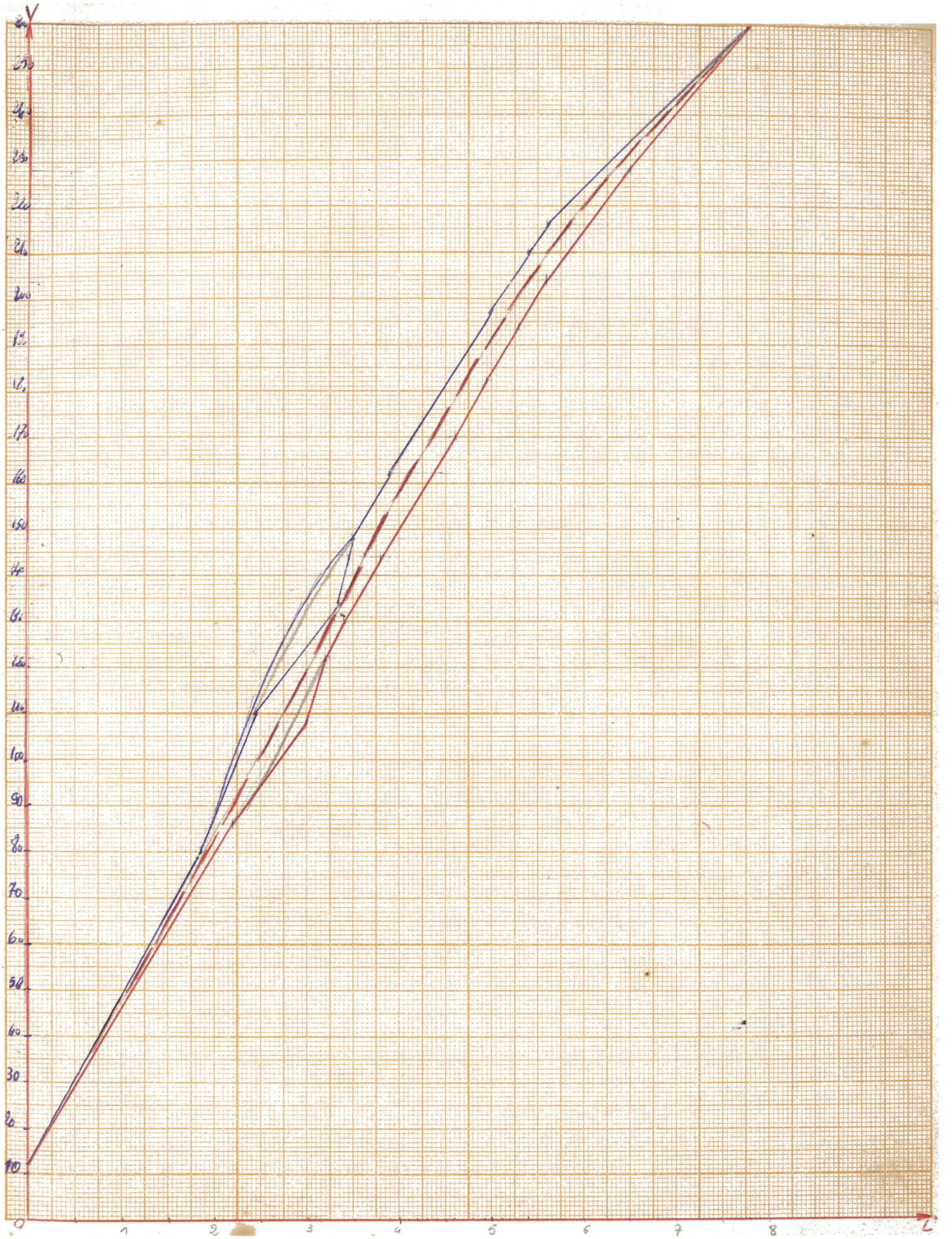
Les lectures directement inscrites dans les tableaux des feuilles d'essais N° 4 et 5 sont ensuite corrigées et traduites sous forme de courbes. Pour chacune des dynamos, on obtient ainsi une branche montante et une branche descendante(hystérésis); celle qui correspond aux valeurs décroissantes de l'excitation est plus élevée que l'autre. On considère que la caractéristique à vide est la moyenne des deux. Sa forme renseigne sur le comportement magnétique de la machine; un coude de saturation fort brusque indique que l'entrefer est faible et inversément.

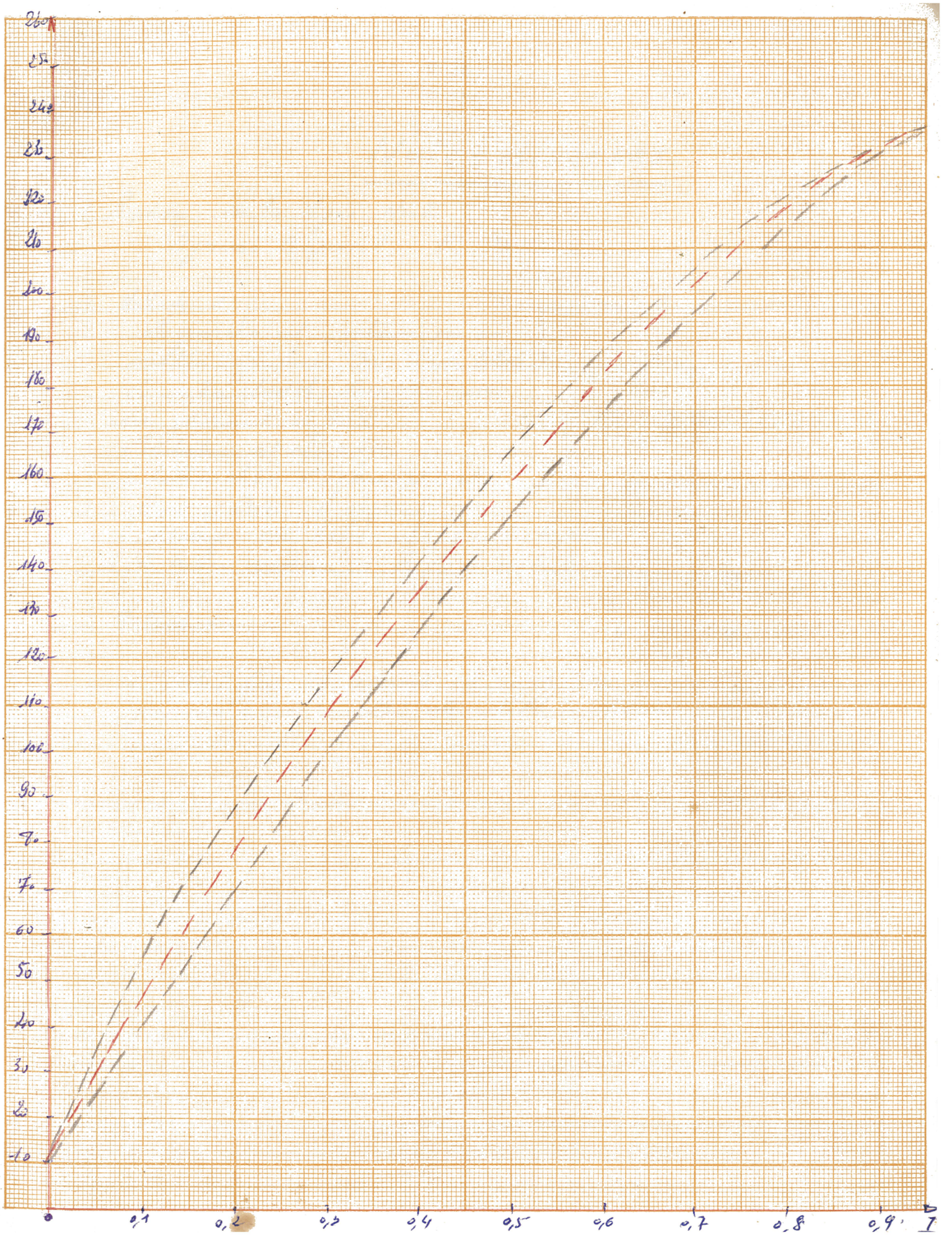
Feuille d'essai n°4

Caractéristique à vide

Machine compound n° 12638

E		i		N	Observations
lu	corrigé	lu	corrigé		
K= 2		K= 0,01		1000	Avec un courant aul. une fem. de flux remanent existant.
6	12				
43	86	22	0,22		
59	118	30	0,3		
61	122	32	0,32		
63	126	32,5	0,325		
65	130	34	0,34		
72	144	38	0,38		
85	170	46	0,46		
91	182	49,5	0,495		
97	194	53	0,53		
102	204	56	0,56		
114	228	65	0,65		
130	260	78	0,78		
108	216	56	0,56		
105	210	54	0,54		
99	198	50	0,5		
81	162	39	0,39		
74	148	35	0,35		
72	144	34,5	0,345		
70	140	33,5	0,335		
67	134	31,5	0,315		
55	110	24,5	0,245		
40	80	18,5	0,185		
6	12				


Y
L
0
1
2
3
4
5
6
7
8
90
80
70
60
50
40
30
20
10

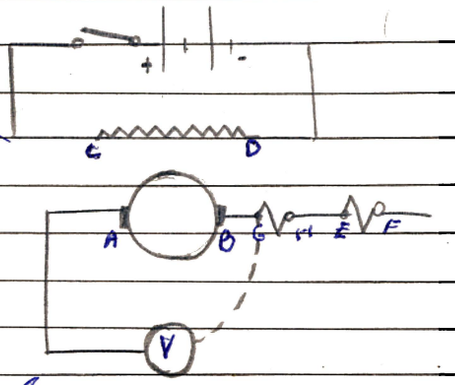

260
250
240
230
220
210
200
190
180
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
I

Notes diverses.

Repérage de la ligne Neutre.
Dynamo Compound N° 3676.

Methode 1.

La génératrice est entraînée par un moteur asynchrone 3v. à rotor bobiné. La vitesse étant de 1000 t/m avec un glissement de 30%.
L'inducteur est alimenté par une source de batterie de 6v. L'interrupteur étant fermé. Avec le dispositif de décalage des balais on cherche la position de la valeur maximum de la f.e.m. induite



Methode 2.

L'induit fixe on alimente l'inducteur par une source constituée de batterie d'accus

Feuille d'essai n° 5

Caractéristique à vide

Machine shunt n° 12641

E		i		N	Observations
lu	corrigé	lu	corrigé		
k: 2		k: 0,01			
5	10	0	0	1000 t/m	Vitesse constante
22	44	13	0,013		
32	64	19,75	0,1975		$E = K N \phi$.
47,5	95	30	0,30		
64	128	40,5	0,405		
85	170	56,5	0,565		
95	190	66	0,66		
105	210	77	0,77		
111	222	85	0,85		
118	236	95	0,95		
114	228	85	0,85		
106	212	74	0,74		
98	196	64	0,64		
83	166	51,5	0,515		
72	144	42,75	0,4275		
61	122	35	0,35		
46	92	25	0,25		
31	62	15,25	0,1525		
27	54	13,25	0,1325		
5	10	0	0		

Date: 14-11-1961
12-11-1961.

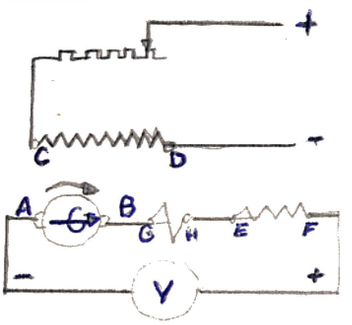
Rapport des essais n°s 4 et 5

I. Préparation:

a) But des essais C'est de faire une étude quantitative de la variation de la f.e.m. en fonction du courant d'excitation.

b) Machines étudiées Machine Compound n° 12638.

c) Schéma



d) Matériel utilisé Un tachymètre un voltmètre, un rhéostat d'excitation

Un tachymètre 1 Rhéostat d'excitation 1 Rhéostat de démarrage
1 Voltmètre. 1 ampèremètre

II. Exécution

Faire varier l'excitation à vitesse constante, on constate que plus i augmente plus la f.e.m. augmente.

III. Résultats et Conclusions

La courbe obtenue en descendant en excitation n'est pas identique à celle obtenue en montant le fait est dû au remanent.

Notes diverses.

5ème Manipulation

La Commutation des dynamos

I. Objet: Vérifier les effets des phénomènes de commutation d'une dynamo non pourvue de pôles auxiliaires, mais munie d'un dispositif de décalage des balais.

II Schéma et Montage

Expérimenter sur la machine compound. Le montage du moteur est identique à celui de la 3ème manupulation; il en est de même de l'excitation de la génératrice. L'induit de la génératrice est connecté à un pont de résistances à travers un ampèremètre pour contrôler sa charge; les enroulements GH et EF sont mis hors service; le pont de résistances est donc connecté directement entre les points A et B .

III Mode opératoire

a) PREPARATION:

1,2,3,4,5,6 : voir 3ème manipulation.

7) Régler l'excitation de la génératrice pour obtenir 220 volts entre A et B.

b) EXPERIMENTATION:

1) Charger progressivement la dynamo et constater leseffets.

2) Décaler les balais en avant du sens de rotation jusqu'à disparition des étincelles au collecteur et ceci, pour différentes valeurs de la charge.

3) Décaler les balais en avant du sens de rotation dans une position moyenne et charger au 1/4, à 1/2, à 3/4 et à 4/4 charge.

4) Remettre la génératrice à vide, faire varier le décalage avant des balais, et noter pour divers décalages la valeur de la F.E.M. collectée.

5) Connecter cette fois les enroulements auxiliaires en série avec l'induit, points B et G réunis; charger la machine comme précédemment, balais sur la ligne neutre et constater les effets.

IV Résultats

1) Une dynamo, non pourvue d'enroulements de commutation, balais calés à la ligne neutre, " crache " en charge; le " crachement " s'accroît avec la charge.

2) Les étincelles au collecteur peuvent être supprimées par un décalage des balais en avant du sens de marche.

3) Ce décalage doit être d'autant plus grand que la charge est élevée; un décalage moyen peut, dans certaines conditions, être toléré.

4) Mais, le décalage des balais provoque une diminution de la F.E.M. collectée.

Remède moderne: Pôles auxiliaires de commutation.

Date:

Rapport de l'essai n° 6

I. Préparation

a) But de l'essai

b) Machine essayée

c) Schéma

d) Matériel utilisé

II. Exécution

III. Conclusions

6ème Manipulation.

Caractéristiques de la dynamo à excitation indépendante

Courbes en charge - Caractéristique interne - Courbe de réglage.

I. Objet

Tracé du réseau de caractéristiques en charge à vitesse constante et excitation donnée. U = f (I) N = constante i = constante

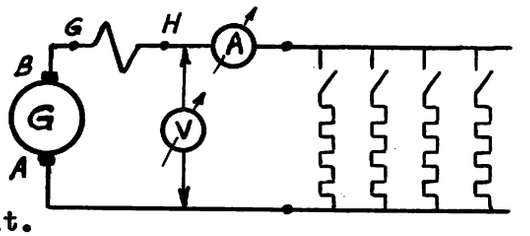
II Schéma et Montage

a) La machine compound est montée en dynamo à excitation indépendante et entraînée par le moteur shunt.

Câblage du moteur : voir 3ème manipulation.

Idem en ce qui concerne la génératrice et son équipement d'excitation.

Compléter l'équipement de la dynamo comme suit : l'induit, enroulements auxiliaires en service, est connecté au pont de résistances de décharge et l'intensité fournie est contrôlée par un ampèremètre.



b) La machine shunt est ensuite montée en dynamo à excitation indépendante et entraînée par la machine compound montée en moteur compound concordant.

III. Mode opératoire

a) **PREPARATION:**

Voir 3ème manipulation.

b) **EXPERIMENTATION:**

1) Fermer l'interrupteur d'excitation et régler celle-ci pour obtenir une F.E.M. induite (tension à vide) de 240 volts.

2) Faire varier la charge d'environ 5 A. à la fois (un interrupteur du pont de résistances) et ce, jusqu'à la charge normale de la génératrice. La vitesse étant maintenue rigoureusement constante ainsi que le courant d'excitation de la dynamo, lire pour chaque valeur de l'intensité débitée, la tension aux bornes de la génératrice.

3) Recommencer l'essai pour d'autres valeurs maintenues constantes du courant i, par exemple pour celles fournissant les tensions à vide suivantes : 250 , 230 , 220 , 210 volts.

4) Tracer les caractéristiques en charge et analyser les résultats.

IV. Résultats

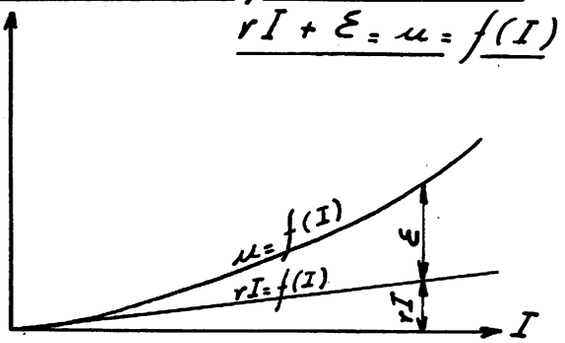
Les courbes U = f (I) relevées mettent en évidence une chute de tension qui croît avec l'intensité débitée; on sait que cette baisse de tension est due :

a) à la chute ohmique produite par la résistance de l'induit et des enroulements de commutation: r I.

b) à la réaction magnétique de l'induit dont le flux diminue le flux inducteur (saturation des cornes polaires de sortie, déplacement de la ligne neutre théorique dû à la distorsion).

Une courbe en charge possède des ordonnées d'autant plus grande qu'elle a été tracée avec un courant d'excitation plus important.

V Tracé graphique d'une caractéristique interne :



Cette courbe montre la variation de la chute de tension totale en fonction du courant débité, le courant d'excitation étant maintenu constant; elle comprend deux parties faciles à déterminer:

a) la chute ohmique r I dans l'induit et les enroulements de commutation; la fonction $rI = u - \mathcal{E} = f(I)$ est représentée par une droite.

b) la chute de réaction d'induit $\mathcal{E}$, due à la diminution du flux inducteur provoquée par la réaction magnétique; à cause de celle-ci, la F.E.M. induite en charge $E_{ch.}$ est, pour un même courant d'excitation, plus faible que la F.E.M. induite à vide E_v ; la différence vaut : $E_v - E_{ch} = \mathcal{E}$ qui dépend essentiellement de l'état de saturation de la machine (et du décalage éventuel des balais).

CONSTRUCTION:

Déduire, pour la machine shunt seulement, la caractéristique interne u = f (I) correspondant au courant d'excitation qui fournit une tension à vide de 240 volts. Remarquer, pour cela, que chaque ordonnée de la caractéristique interne est le complément par rapport à la F.E.M. à vide (240 volts) des ordonnées correspondantes de la courbe en charge.

Sur le même graphique, tracer la droite des chutes de tension ohmiques, ce qui fournira les valeurs de $\mathcal{E}$ en fonction de la charge I.

VI Tracé graphique d'une courbe de réglage : $i = f(I)$.

Cette courbe fournit les valeurs du courant d'excitation en fonction de l'intensité débitée, quand la tension aux bornes reste constante et la vitesse invariable. Notamment dans le cas des réseaux, il faut réaliser une tension aussi constante que possible quels que soient les courants débités par les génératrices; la caractéristique de règlage est alors très utile car elle montre les variations à faire subir au courant d'excitation en fonction du courant débité pour que la tension U reste constante.

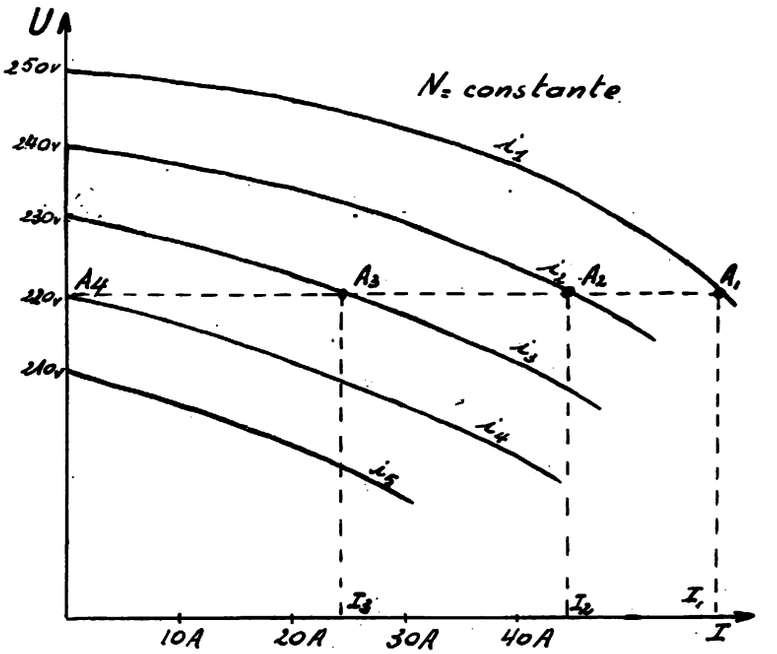
CONSTRUCTION:

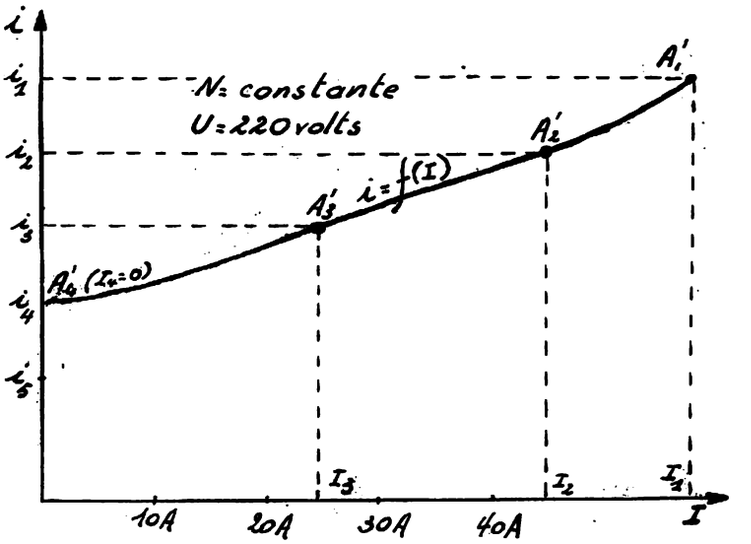
Soit à déterminer la caractéristique de règlage de la machine shunt correspondant à U = 220 volts, la machine étant excitée indépendamment. Sur le réseau des caractéristiques en charge, tracer l'horizontale d'ordonnée 220 volts; elle coupe les courbes en des points tels que A_1, A_2, A_3, A_4, correspondant respectivement aux courants d'excitation i_1, i_2, i_3, i_4 pour lesquels les courbes en charge ont été relevées.

On dispose ainsi des couples de valeurs $i_1 I_1$, $i_2 I_2$, $i_3 I_3$, $i_4 I_4$, avec lesquels on peut tracer la courbe de règlage pour U = 220 volts.

Analyser la forme générale de la courbe.

Il existe bien entendu autant de courbes de règlage que de tensions U choisies.



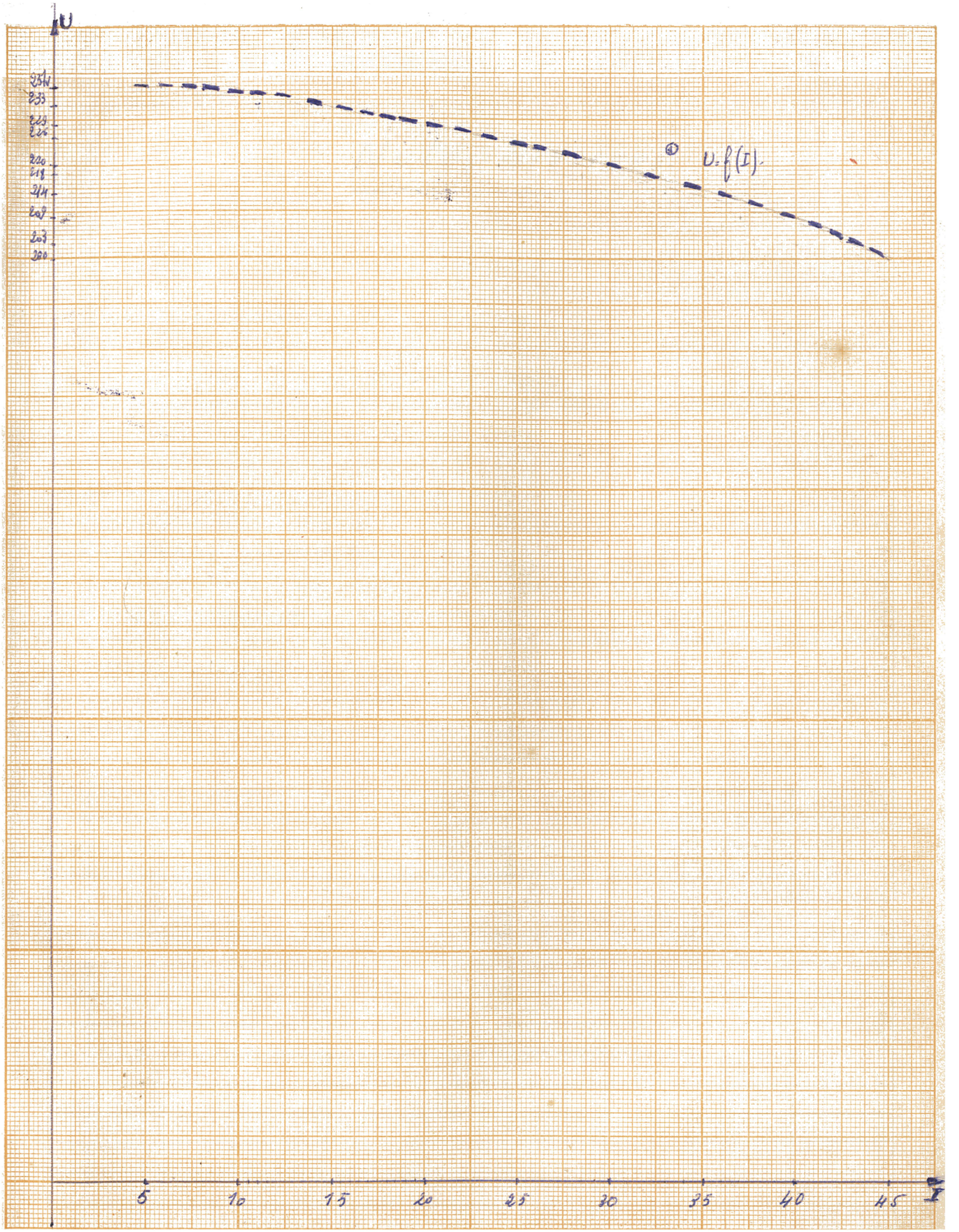


Feuille d'essai n° 7

Caractéristiques en charge

Machine compound n° 12638 , montée en excitation indépendante

U		I		i		N	observations
lu	corrigé	lu	corrigé	lu	corrigé		
K = 2		K = 1					
118,5	237	5	5	Constant		1000 t/m	
116,5	233	10,2	10,2				
114,5	229	15	15				
113	226	19,5	19,5				
110	220	24	24				
109	218	28,5	28,5				
107	214	33	33				
104,5	209	37	37				
101,5	203	40	40				
100	200	45	45				


U
234
233
225
224
220
218
214
208
203
200
U = f(I)
5
10
15
20
25
30
35
40
45
I

Notes diverses.

Feuille d'essai n° 8

Caractéristiques en charge

Machine shunt n° _____, montée en excitation indépendante

U		I		i		N	Observations.
lu	corrigé	lu	corrigé	lu	corrigé		
k=		k=					

Notes diverses.

Date :

Rapport des essais nos 7 et 8

I. Préparation

a) But des essais

b) Machines étudiées

c) Schéma

d) Matériel utilisé

II. Exécution

III. Résultats et Conclusions

7ème Manipulation

Caractéristiques de la dynamo à excitation Shunt

Amorçage. Courbes en charge et de réglage

I. Objet

Tracé du réseau de caractéristiques en charge, à vitesse constante et position du rhéostat de champ invariable. U = f (I) ; N = constante ; Rh = constante.

II. Schéma et Montage

La machine shunt est montée en dynamo shunt et entraînée par la machine compound montée en moteur compound concordant. L'excitation de la dynamo est prise aux bornes A et H via le rhéostat de champ Rh. Le débit est contrôlé par un ampèremètre monté en série avec le pont de résistances de décharge.

III. Mode opératoire

a) PREPARATION:

Voir 3ème manipulation. Vérifier que le rhéostat de champ de la génératrice se trouve au maximum de résistance.

b) EXPERIMENTATION:

1) Amorçage: La dynamo tournant à 1.000 t/min., à circuit de décharge ouvert (I = 0), il apparaît aux bornes une F.E.M. très faible due au magnétisme rémanent. Amener progressivement la manette du rhéostat de champ vers la position de court-circuit sans pour autant l'atteindre. Lorsque sa résistance devient suffisamment faible et pourvu que les connexions du circuit d'excitation soient convenables, la tension U aux bornes augmente et atteint rapidement sa valeur normale: la machine est amorcée. Si au lieu d'augmenter, la tension due au rémanent diminue lorsqu'on manoeuvre le rhéostat d'excitation, cela prouve que les inducteurs ont été connectés à l'envers. Régler la valeur de Rh pour que la dynamo fournisse à vide une tension U de 240v.

2) Charge: Sans toucher au rhéostat d'excitation, charger ensuite progressivement de 5 en 5 A. jusqu'à la valeur nominale de I. La vitesse étant maintenue constante, lire simultanément le courant débité dans le circuit des résistances de décharge et la tension aux bornes.

3) Recommencer l'essai en charge pour différentes positions maintenues constantes de Rh, par exemple pour celles fournissant les tensions à vide suivantes: 250, 230, 220 et 210 volts.

4) Tracer les caractéristiques en charge et analyser les résultats.

IV. Résultats et Calculs

a) **AMORCAGE:**

Une dynamo shunt s'amorce à vide pourvu que:

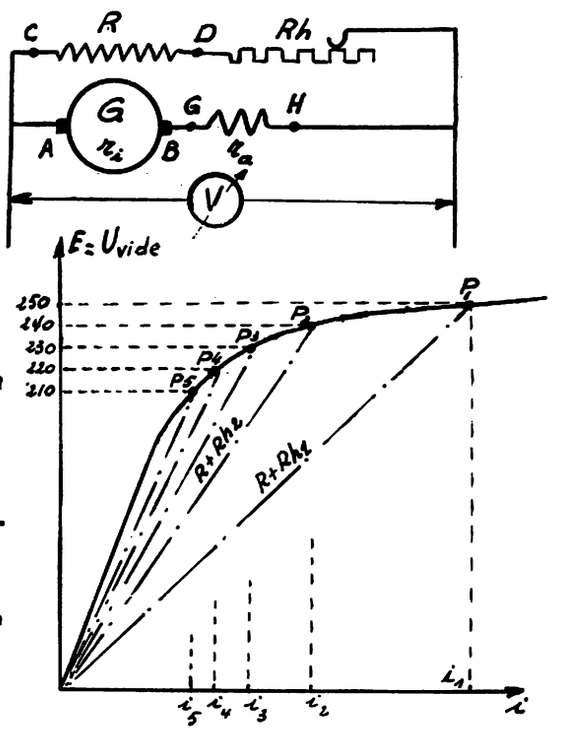
1) le sens des connexions entre l'inducteur et l'induit soit convenable c'est-à-dire tel que la F.E.M. induite crée un courant d'excitation qui renforce le rémanent. S'il n'en est pas ainsi, il faut intervertir les connexions de l'inducteur ou bien changer le sens de rotation.

2) la résistance du circuit inducteur, rhéostat d'excitation compris, soit inférieure ou égale à la résistance critique d'amorçage.

b) **POINT DE FONCTIONNEMENT A VIDE ET CALCUL DU RHEOSTAT D'EXCITATION:**

A vide, la machine fonctionne dans des conditions telles que:

$$E = f(i) \quad \text{et} \quad E = U_{vide} + r\, i_{vide} \cong U_{vide} = (R + Rh)\, i_{vide}.$$



La courbe E = f(i) est la caractéristique à vide; la courbe U = (R + Rh)i est une droite; le point de rencontre de cette droite avec la caractéristique à vide s'appelle point de fonctionnement P. L'ordonnée de P mesure la F.E.M. induite à vide (par exemple 240 volts dans le cas du premier essai); la droite OP est la droite de fonctionnement. Chaque point de cette droite a pour ordonnée la tension U aux bornes de la machine en charge et pour abscisse le courant d'excitation i qui lui correspond. Il y a autant de points P et de droites de fonctionnement que de valeurs (maintenues constantes) données à Rh.

Redessiner la courbe de magnétisation de la machine (Voir 4ème manipulation) et tracer les droites de fonctionnement correspondant aux 5 positions de rhéostat choisies lors de l'essai en charge; ordonnées de P_1 , P_2 , P_3 , P_4 , P_5 : 250, 240, 230, 220 et 210 volts.

Calculer les valeurs correspondantes Rh_1, Rh_2, Rh_3, Rh_4, Rh_5 ; pour cela, appliquer la relation : $U_{vide} = E = (R + Rh)\, i_{vide}$ qui donne : $Rh = \dfrac{E}{i_{vide}} - R$

E est mesurée en cours d'essai: c'est la F.E.M. à vide (250..... ou 210 volts); elle correspond à un courant d'excitation i_{vide} dont la valeur lue sur la courbe de magnétisation est mesurée par l'abscisse du point P. La valeur de R, résistance des enroulements inducteurs est connue (voir 2ème manipulation).

Inscrire les valeurs de Rh_1, Rh_2, Rh_3, Rh_4, Rh_5 ainsi calculées en regard (paramètre) de chacune des courbes en charge qui leur correspond.

c) RESEAU DE COURBES EN CHARGE:

Chaque courbe montre comment varie la tension U en fonction de la charge I lorsque la position de Rh est invariable. Lorsque I augmente la chute de tension totale augmente; cette chute de tension est déterminée par trois causes:

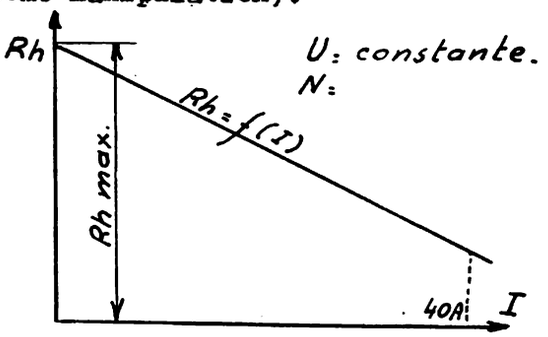
1) la chute de tension ohmique $(r_i + r_a)(I + i)$
2) la chute due à la réaction d'induit $\mathcal{E}$, créée par le flux d'induit
3) la chute de tension causée par la diminution de courant d'excitation consécutive à la réduction de la tension U appliquée aux inducteurs.

Cette troisième cause n'existe pas en excitation indépendante. Les courbes en charge de la machine shunt sont donc plus tombantes que celles de la même machine excitée indépendamment. Vérifier ce résultat en consultant les courbes de l'essai N° 8.

V. Tracé graphique d'une courbe de réglage

Le procédé de construction est identique à celui qui a été mis en oeuvre dans l'étude de la machine à excitation indépendante. (6ème manipulation).

Noter toutefois que ce sont les valeurs de Rh (et non celles de i) que l'on porte en ordonnées puisque les courbes sont ici tracées pour Rh (et non i) constants. Tracer la caractéristique de réglage correspondant à U = 220 volts et N = 1.000 t/min.

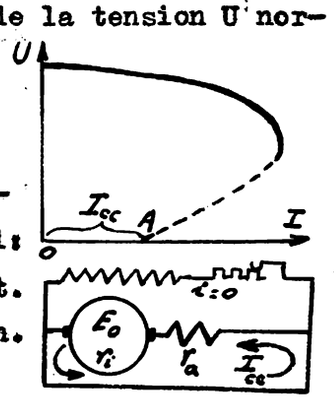


CALCUL DU RHEOSTAT D'EXCITATION D'UNE DYNAMO SHUNT:

La courbe de réglage permet de déduire la valeur maximum de la résistance du rhéostat d'excitation associé à la machine. Supposons en effet que celle-ci doive débiter un courant variant de 0 à sa valeur nominale I_{max} = 40 A. par exemple, sous la tension constante de 220 volts. La valeur maximum du rhéostat d'excitation est mesurée par l'ordonnée à l'origine de la courbe de réglage. Il doit être constitué d'un fil dont la section permet sans préjudice le passage du courant d'excitation maximum dont la valeur est fournie par l'expression : $i_{max} = \frac{U}{R + Rh_{min}}$

La valeur approximative de la résistance maximum d'un rhéostat d'excitation est d'environ 1, 2 à 1, 5 fois R; elle est divisée en un certain nombre de résistances partielles; ce nombre assez grand dépend des variations tolérées de la tension U normale.

VI. Calcul du courant de court-circuit



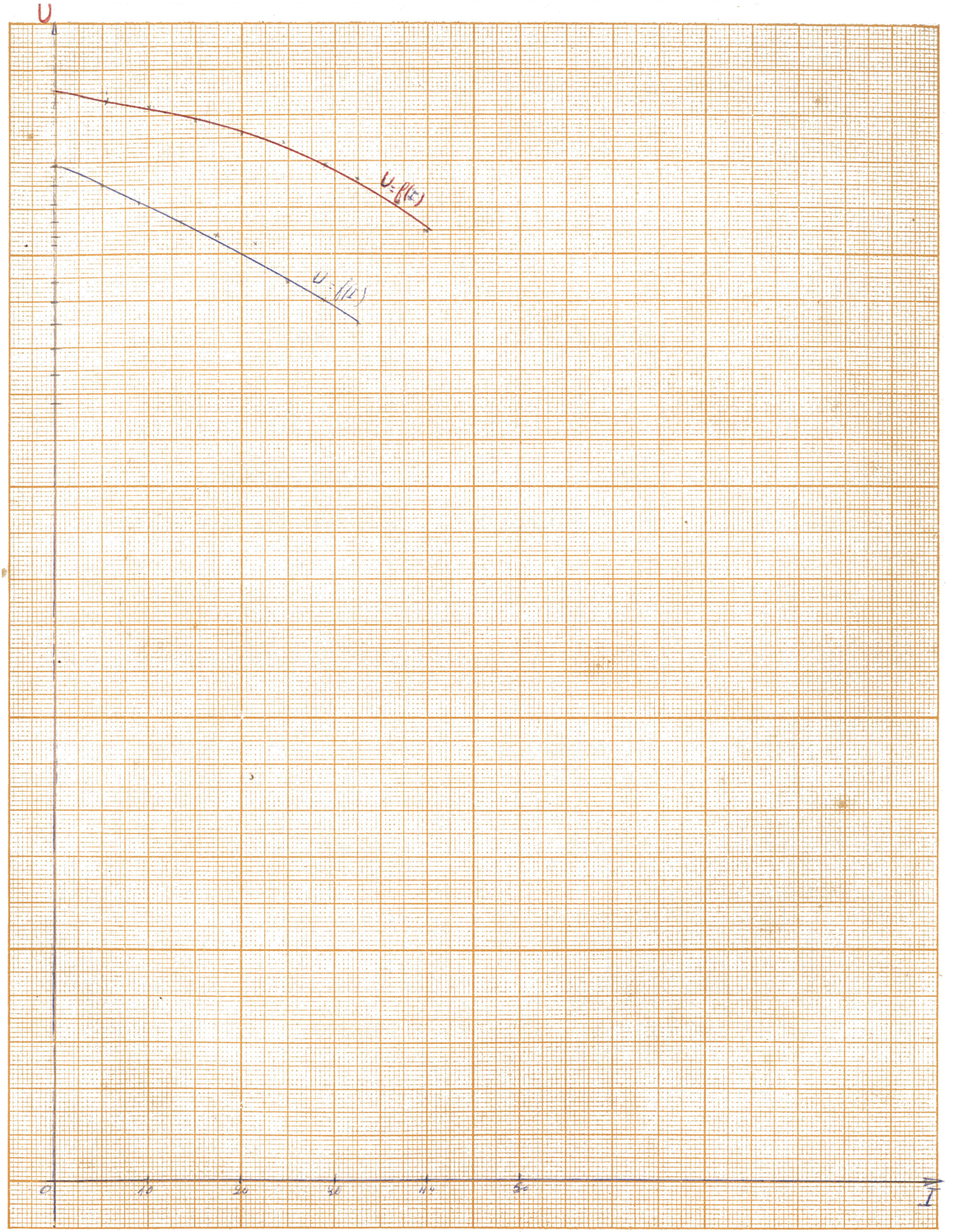
Quand la résistance de charge diminue, I augmente, passe par un maximum, puis diminue. On a : $OA = I_{cc}$; c'est le courant de court-circuit car la tension U est alors nulle; on a aussi: $i = 0$ et la seule F.E.M. E_0 est due au magnétisme rémanent. Il vient: $I_{cc} = \frac{E_0}{r_i + r_a}$; E_0 mesurée sur la courbe de magnétisation. Appliquer ce calcul au cas de la machine shunt étudiée.

Feuille d'essai n° 9

Caractéristiques en charge

Dynamo shunt n° 12 642

U		I		N	Observations.
lu	corrigé	lu	corrigé		
k = 2		k = 1		1000 t/mn	
117,5	235	0			
116,5	233	5,5			
116	232	10			
114,5	229	15			
113	226	20			
112	224	24,5			
109,5	219	29			
108	216	32,5			
105,5	211	37			
102,5	205	40			
109,5	219	0			
107,5	215	5			
105,5	211	9			
103,5	207	13,5			
102	204	17,5			
101	202	21,5			
97	194	25			
95	190	29			
92,5	185	32,5			
90	180				
87	174				
84	168				


U
U=f(x)
U=f(I)
0
10
20
30
40
50
I

Notes diverses.

Date:

Rapport de l'essai n° 9

I. Préparation

a) But de l'essai

b) Machine étudiée

c) Schéma

d) Matériel utilisé

II. Exécution

III. Résultats et Conclusions

8ème Manipulation

Caractéristiques de la dynamo à excitation compound

Amorçage. Courbes en charge. Compoundage.

I. Objet: Tracé du réseau de caractéristiques en charge à vitesse constante et position du rhéostat de champ invariable: U= f(I); N= constante; Rh= constante.

II. Schéma et Montage

La dynamo compound concordante est entraînée par le moteur shunt. Longue dérivation. Elle débite dans le pont de résistances; un ampèremètre et un voltmètre mesurent respectivement son intensité débitée et sa tension.

III. Mode opératoire

a) PREPARATION: Voir manipulations précédentes. Vérifier que le rhéostat de champ de la génératrice se trouve au maximum de résistance.

b) EXPERIMENTATION:

1) Amorçage: voir la 7ème manipulation.

2) Charge: idem (E_{vide} = 250, 240, 230, 220 et 210 volts).

3) Tracer les courbes et analyser les résultats.

IV. Résultats et Calculs

a) Amorçage: Une dynamo compound s'amorce à vide dans les mêmes conditions qu'une dynamo shunt; d'ailleurs à vide, la machine compound est une dynamo shunt, le courant i dans l'enroulement série ayant un effet négligeable.

b) Calcul de la valeur du rhéostat d'excitation:

Chaque courbe en charge est établie pour une valeur bien déterminée de la résistance Rh d'excitation que l'on calcule comme dans le cas de la dynamo shunt. Déterminer les résistances Rh_1, Rh_2, Rh_3, Rh_4, Rh_5 caractérisant les 5 courbes en charge relevées.

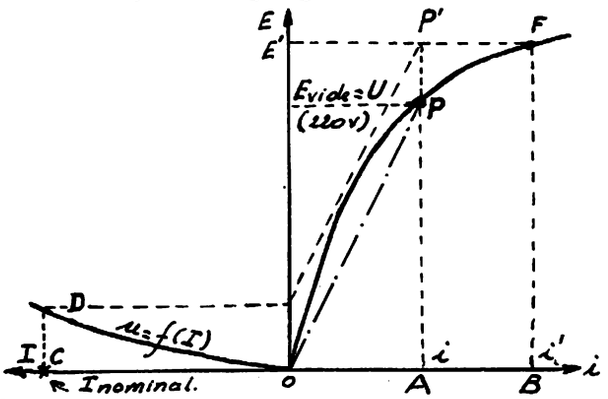
c) Réseau de courbes en charge:

A quelques volts près, on constate que la tension aux bornes U reste constante. Plus précisément, la tension U est la même pour la marche à vide et pour le fonctionnement à pleine charge. C'est parce que l'enroulement série, traversé par le courant débité, augmente le flux utile et compense la chute de tension qui se

produit quand l'enroulement shunt intervient seul. Il en résulte que le courant d'excitation lui-même reste sensiblement constant entre la marche à vide et en pleine charge. Comparer avec celles-ci les courbes en charge obtenues avec la même machine excitée indépendamment.

V. Compoundage d'une dynamo shunt

Il est possible de déterminer graphiquement le nombre de spires de l'enroulement série pour compounder une dynamo shunt. On sait que la baisse de tension d'une machine shunt est due à trois causes, la 3ème, qui est la diminution de i est une conséquence des 2 premières; elle disparaît donc si l'on compense les 2 premières. Pour compounder une dynamo shunt, il suffit donc de compenser la chutede tension ohmique et la chute due à la réaction d'induit, c-à-d. la chute de tension totale. Or, pour un débit I donné, cette chute de tension totale u est fournie par la caractéristique interne de la machine montée en excitation indépendante à laquelle il faudrait ajouter la chute de tension ohmique dans l'enroulement série dont on ignore la résistance puisque le problème est de le déterminer; on néglige donc cette dernière au départ. Pour que la tension aux bornes soit la même en charge et à vide, il faut que la F.E.M. qui est à vide: $E_{vide} = U$, devienne en charge: $E' = E_{vide} + u$. Le point de fonctionnement doit donc passer de P à P'; la distance PP' vaut PP' = E' - U = u = DC que l'on mesure sur la caractéristique interne (7e manipulation).

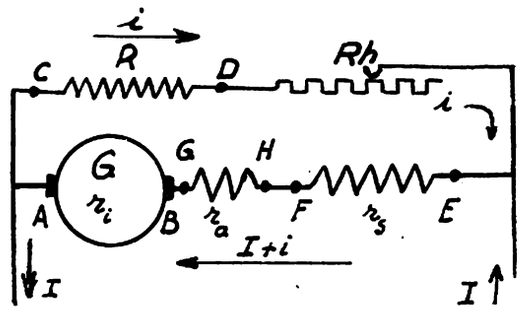


La tension E' correspond à une excitation OB= i', obtenue en menant par P' l'horizontale qui coupe la courbe de magnétisation en F. Si le courant d'excitation agissait seul, il devrait passer de la valeur i=OA à i'=OB; si l'enroulement shunt comporte n spires, le nombre d'A.-T. inducteurs doit être accru de n(i' - i). Mais l'augmentation de F.E.M. n'est pas obtenue par accroissement du courant d'excitation shunt, mais bien en utilisant le courant (I+i) dans les x spires de l'enroulement série; le compoundage sera donc réalisé si :

$$n\,(i' - i) = x\,(I + i)$$

d'où : $$x = \frac{n\,(i'-i)}{I+i}$$

Pour tenir compte de la chute de tension complémentaire créée dans l'enroulement série, on évalue approximativement sa résistance à 30% de celle de l'induit; il suffit alors de majorer PP' de la valeur : $0{,}3\ r_i\ (I + i)$.



Notes diverses.

Feuille d'essai n° 10

Caractéristiques en charge

Dynamo Compound concordante

n°

U		I		N	Observations
lu	corrigé	lu	corrigé		
k=		k=			

Notes diverses.

Date:

Rapport de l'essai n° 10

I. Préparation

a) But de l'essai

b) Machine étudiée

c) Schéma

d) Matériel utilisé

II. Exécution

III. Résultats et Conclusions

9ème Manipulation

Caractéristiques de la dynamo à excitation série

Amorçage . Courbe en charge.

I. Objet

Tracé de la courbe en charge d'une dynamo série tournant à vitesse constante.
U = f(I) , N = constante.

II. Schéma et Montage

La dynamo série est entraînée à la vitesse constante de 1000t/min. par le moteur shunt. Un voltmètre contrôle la tension U aux bornes de sortie; un ampèremètre contrôle son courant I débité dans le pont de résistances.

III. Mode opératoire

a) PREPARATION:

Voir essai précédent. Vérifier que les résistances de décharge sont hors service.

b) EXPERIMENTATION:

1) Amorçage: Tant que le circuit de charge est ouvert, la tension aux bornes est très faible (rémanent); il faut diminuer la résistance de décharge jusqu'à la valeur critique d'amorçage pour que la machine s'amorce. Faut-il encore que le sens des connexions de l'enroulement série soit correct (renforcement du rémanent).

2) Charge: Varier par bond de 5 ampères jusqu'à la valeur nominale.

IV. Résultats

La dynamo série ne s'amorce pas à vide; elle s'amorce en charge pourvu que la résistance extérieure soit inférieure ou égale à la résistance critique d'amorçage et que le courant de charge ait un sens tel qu'il renforce le rémanent.

La tension aux bornes augmente avec la charge jusqu'à atteindre un maximum après quoi elle diminue.

Feuille d'essai n° 11

Caractéristique en charge

Dynamo Série n°

U		I		N	Observations
lu	corrigé	lu	corrigé		
k:		k:			

Notes diverses

Date:

Rapport de l'essai n° 11

I. Préparation

a) But de l'essai

b) Machine étudiée

c) Schéma

d) Matériel utilisé

II. Exécution

III Résultats et Conclusions

10ème Manipulation

Vérification expérimentale des propriétés générales des moteurs C.C.

I. Objet

Vérifier que la vitesse de rotation d'un moteur C.C. dépend du flux inducteur et de la tension d'alimentation de l'induit.

Vérifier que le sens de rotation dépend du sens du flux inducteur et du sens de la tension alimentant l'induit.

II. Schéma et Montage

Le moteur shunt est alimenté en excitation indépendante de façon à tourner à droite. Ses rhéostats de démarrage et d'excitation contrôlent respectivement le démarrage et la vitesse. Un compte-tours mesure cette vitesse. Un ampèremètre mesure le courant d'excitation; un voltmètre mesure la tension d'alimentation.

III Mode opératoire

a) PREPARATION:

1) Alimenter les inducteurs du moteur et vérifier que cette excitation est bien réelle (déviation de l'ampèremètre d'excitation).

2) Démarrer et régler l'excitation du moteur pour obtenir la vitesse de 1.000 t/min., la tension d'alimentation étant de 220 volts.

b) EXPERIMENTATION:

1) A tension d'alimentation constante (220volts); borne A positive.

α) Faire varier le courant d'excitation du moteur (par réglage du rhéostat d'excitation) et constater les effets sur le compte-tours. Noter le sens de rotation.

β) Arrêter le moteur et inverser le sens du courant d'excitation (D→C) Redémarrer et constater l'effet sur le sens de rotation.

2) A excitation constante, (C→D).

α) Faire varier la tension d'alimentation U et constater les effets sur le compte-tours. Noter le sens de rotation.

β) Arrêter le moteur et inverser la tension d'alimentation de l'induit (Borne H positive); redémarrer et constater l'effet sur le sens de rotation.

3) Inversion simultanée des sens de la tension d'induit et de l'excitation.

Les polarités de U restant inversées (H→A), inverser également

le sens de l'excitation (D ⟶ C). Redémarrer et noter le sens de rotation.

4) Mise en évidence de la F.C.E.M. E'

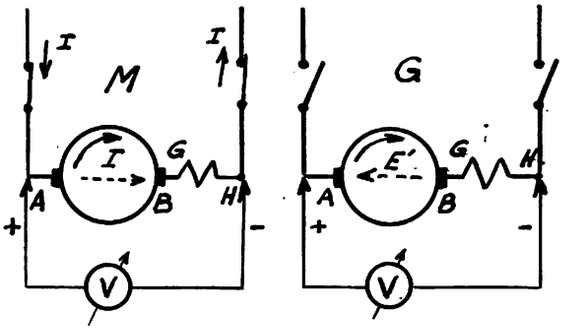
Placer le voltmètre aux bornes AH de l'induit et mettre le moteur en marche à 1.000 t/min. Le voltmètre mesure la tension d'alimentation (220 volts); comme il est polarisé il permet de repérer la borne + et par suite de connaître le sens du courant dans l'induit. Couper le courant d'induit c-à-d. en fait la tension U; le moteur continue à tourner et ralentit peu à peu. Mais le voltmètre dévie toujours dans le même sens; la tension qu'il indique diminue progressivement jusqu'à l'arrêt complet de la machine.

Avant de décabler, réexciter l'enroulement shunt dans le sens C ⟶ D pour rétablir son rémanent dans le sens normal.

IV. Résultats

La vitesse varie en sens inverse du flux inducteur et dans le même sens que la tension aux bornes de l'induit.

Le sens de rotation dépend des sens du flux inducteur et de la tension d'induit; l'inversion de l'un ou de l'autre de ces deux facteurs change le sens de rotation; l'inversion simultanée des deux facteurs n'affecte pas le sens de rotation.



L'indication du voltmètre, dans la 4ème expérience, prouve que la rotation de l'induit dans le champ crée une F.E.M.; puisque la déviation du voltmètre n'a pas changé, c'est que les polarités sont restées les mêmes; la F.E.M. a donc le sens contraire de la tension qui était appliquée à l'induit; c'est donc une F.C.E.M.; elle s'oppose par conséquent au passage du courant d'induit.

Feuille d'essai n° 12

Propriétés générales des moteurs C.C.

U		i		N	sens de rotation	Observations
sens	variation	sens	variation			

Date:

Rapport de l'essai n° 12

I. Préparation:

a) But de l'essai

b) Machine étudiée

c) Schéma

d) Matériel utilisé

II Exécution

III Conclusions

11ème Manipulation

La Commutation des moteurs C.C.

I. Objet : Vérifier les effets des phénomènes de commutation d'un moteur C.C. non pourvu de pôles auxiliaires mais muni d'un dispositif de décalage des balais.

II. Schéma et Montage

Expérimenter sur la machine compound. Câbler cette machine en moteur shunt sans enroulement de commutation (Raccordement entre les bornes A et B).
Ce moteur entraîne la machine shunt fonctionnant en dynamo shunt normale et débitant sur un pont de résistances; la tension aux bornes de la génératrice est contrôlée par un voltmètre.

III. Mode opératoire

a) PREPARATION:

Démarrer le moteur, balais calés à la ligne neutre et amener sa vitesse à 1.000 t/min., le pont de résistances étant hors service.

b) EXPERIMENTATION:

1) Amorcer la dynamo et la charger progressivement; le moteur est ainsi lui-même chargé. Constater les effets au collecteur du moteur.

2) Décaler les balais en arrière du sens de marche jusqu'à disparition des étincelles au collecteur et ceci pour différentes valeurs de la charge.

3) Décaler les balais en arrière du sens de marche dans une position moyenne et charger au 1/4, à 1/2, à 3/4 et à 4/4 charge.

4) Remettre la génératrice à vide, donc aussi pratiquement le moteur; faire varier le décalage arrière des balais et noter pour différents décalages la valeur de la vitesse.

5) Connecter enfin les enroulements auxiliaires GH du moteur en série avec l'induit; charger la dynamo comme précédemment, balais du moteur à la ligne neutre et constater les effets.

IV. Résultats

Un moteur démuni d'enroulements de commutation " crache " en charge; le " crachement " s'accroît avec la charge. Les étincelles au collecteur peuvent disparaître en décalant les balais en arrière du sens de rotation. Ce décalage doit être d'autant plus grand que la charge est élevée; un décalage moyen peut, dans certaines conditions, être toléré.

Mais le décalage des balais donne lieu à un flux antagoniste donc à une diminution du flux utile c-à-d. à une augmentation de vitesse.

Date:

Rapport de l'essai n° 13

I. Préparation

a) But de l'essai

b) Machine étudiée

c) Schéma

d) Matériel utilisé

II Exécution

III Conclusions

12ème Manipulation

Caractéristiques du moteur à excitation shunt

I. Objet

Relevé de la caractéristique de vitesse d'un moteur shunt alimenté à tension constante. N = f(I) , U = constante.
Détermination indirecte de ses caractéristiques mécaniques et électromécaniques.

II. Schéma et Montage

Le moteur shunt est accouplé mécaniquement à la dynamo compound mise en charge sur le pont de résistances et contrôlée par un voltmètre utilisé uniquement en tant qu'appareil de surveillance (pour éviter les surcharges de la dynamo).
Un voltmètre principal contrôle la tension d'alimentation U du moteur; un ampèremètre mesure le courant I qu'il absorbe; un compte-tours mesure sa vitesse.

III. Mode opératoire

a) PREPARATION:

La tension d'alimentation U étant normale (220 volts), court-circuiter d'abord l'ampèremètre principal; démarrer et amener le groupe à 1.000 t/min., le circuit de décharge de la dynamo étant ouvert. Après démarrage, remettre l'ampèremètre en service.

b) EXPERIMENTATION:

Charger progressivement la génératrice, de 5 en 5 ampères; la tension U étant maintenue rigoureusement constante, lire simultanément la vitesse N et le courant I absorbé par le moteur. Ne pas dépasser l'intensité nominale du moteur. Relever le point de fonctionnement à vide après avoir découplé le manchon d'entraînement de la génératrice.
Tracer la courbe et analyser sa forme.

IV. Résultats

Quand la puissance mécanique fournie par le moteur augmente, la puissance électrique qu'il absorbe augmente aussi et comme elle est fournie à tension constante, l'intensité absorbée par le moteur croît.

La vitesse reste sensiblement constante lorsque la charge varie; ce fait est

dû aux effets contraires de la chute ohmique rI qui tend à ralentir le moteur et de la réaction magnétique de l'induit qui tend à l'accélérer.

V. Tracé graphique des caractéristiques mécanique et électromécanique (méthode indirecte)

CARACTERISTIQUE MECANIQUE :

$C_u = f(N)$ pour U constant, courbe du moment du couple utile en fonction de la vitesse.

CARACTERISTIQUE ELECTROMECANIQUE:

$C_u = f(I)$ pour U consta nt, courbe du moment du couple utile en fonction du courant absorbé.

Ces deux courbes peuvent être relevées expérimentalement à l'aide d'un frein de Prony, d'une dynamo - frein ou d'une dynamo de charge tarée; mais on peut aussi les déterminer indirectement si l'on connaît la caractéristique de vitesse N = f(I) et la courbe des rendements η = f(I) à la tension U constante.

On a en effet : $P_u = C_u \times \omega = C_u \times \frac{2\pi N}{60}$

or, $P_u = P_{abs.} \times \eta = UI\eta$

donc : $C_u = UI\eta \times \frac{60}{2\pi N} = 9{,}55 \times \frac{UI\eta}{N}$

C_u : moment du couple utile exprimé en m-N (mètres Newtons)

U : en volts; I : courant absorbé en ampères;

N : vitesse en tours par minute.

Les couples de valeur; N et I sont fournis par la caractéristique de vitesse; la courbe des rendements donne la valeur correspondante du rendement. La formule précédente permet alors le calcul du moment du couple utile.

La courbe de rendement en fonction de la charge sera déterminée ultérieurement lors de l'étude du calcul du rendement des machines C.C. Les caractéristiques mécaniques et électromécaniques ne seront donc tracées en cet endroit qu'après l'étude susdite.

Notes diverses.

Feuille d'essai n° 14

Caractéristique de vitesse

Moteur Shunt n° :

U		I		N	Observations.
lu	corrigé	lu	corrigé		
k=		k=			

Notes diverses.

Date :

Rapport de l'essai n° 14

I. Préparation

a) But de l'essai

b) Machine étudiée

c) Schéma

d) Matériel utilisé

II Exécution

III Résultats et Conclusions

13ème Manipulation

Caractéristiques du moteur à excitation compound

I. Objet

Relevé de la caractéristique de vitesse à tension d'alimentation constante

$N = f(I)$, U = constante.

II. Schéma et Montage

Le moteur compound concordant entraîne la dynamo shunt qui débite dans le pont de résistances. Mesure de la vitesse, de l'intensité absorbée par le moteur et de la tension d'alimentation U qui doit être maintenue constante. Contrôle de la tension de sortie de la génératrice.

III. Mode opératoire

a) PREPARATION:

Voir 12ème manipulation.

b) EXPERIMENTATION:

Voir 12ème manipulation.

IV. Résultats

La caractéristique de vitesse d'un moteur compound concordant diminue quand la charge augmente; ce fait est dû à l'augmentation du flux série donc du flux total qui a pour effet de réduire la vitesse.

Le moteur compound ne s'emballe pas à vide.

Feuille d'essai n° 15

Caractéristique de vitesse

Moteur Compound concordant

n°

U		I		N	Observations
lu	corrigé	lu	corrigé		
k=		k=			

Notes diverses.

Date:

Rapport de l'essai n° 15

I Préparation

a) But de l'essai

b) Machine étudiée

c) Schéma

d) Matériel utilisé

II Exécution

III Résultats et Conclusions

14ème Manipulation

Caractéristiques du moteur à excitation série

I. Objet

Relevé de la caractéristique de vitesse d'un moteur série à tension d'alimentation constante. N = f (I) , U = constante.

II. Schéma et Montage

Le moteur série est accouplé mécaniquement à la dynamo montée en excitation indépendante et dont la tension est contrôlée par un voltmètre (pour éviter les surcharges).

Un ampèremètre mesure le courant principal absorbé par le moteur; un compte-tours mesure sa vitesse; un voltmètre contrôle l'invariabilité de la tension d'alimentation.

III. Mode opératoire

a) PREPARATION:

TRES IMPORTANT: UN MOTEUR SERIE S'EMBALLE A VIDE.

1) Exciter la génératrice et s'assurer que cette excitation est bien réelle.

2) Fermer 4 interrupteurs du pont de résistances.

3) Démarrer le groupe, la tension U étant de 220 volts.

b) EXPERIMENTATION:

Varier la charge de la génératrice; la vitesse du moteur change. Noter les lectures simultanées de la vitesse et du courant absorbé, la tension U étant maintenue rigoureusement constante.

Limiter la vitesse du moteur à 1.200 t/min. maximum.

IV. Résultats

La vitesse d'un moteur série diminue fortement quand sa charge augmente. A vide, la vitesse est excessivement grande donc très dangereuse.

Justification: $N = \frac{U - rI}{Kn\phi} \simeq \frac{U}{Kn\phi}$; or, ici : $\phi = K'I$ (pourvu que le moteur ne soit pas saturé) ; donc : $N = \frac{U}{K_1 n I}$

Pour $I = 0$, donc à vide pratiquement : $N = \infty$

Pour I très grand : $N \to 0$.

Feuille d'essai n° 16

Caractéristique de vitesse

Moteur Série n°

U		I		N	Observations
lu	corrigé	lu	corrigé		
$k_=$		$k_=$			

Notes diverses.

Date:

Rapport de l'essai n° 16

I. Préparation

a) But de l'essai

b) Machine étudiée

c) Schéma

d) Matériel utilisé

II Exécution

III Résultats et Conclusions

15ème Manipulation

Rendement des machines C.C.

Méthode des pertes séparées (Swinburne)

I. Objet:

Déterminer la courbe des rendements d'une machine C.C. en fonction de la charge I, la tension aux bornes U étant supposée constante.

$$\eta = f(I) \ , \quad U = \text{constante.}$$

Application aux cas de la dynamo et du moteur shunt étudiés précédemment.

II. Expression du rendement : $\eta = \dfrac{P_{utile}}{P_{absorbée}}$

a) en dynamo : $\eta = \dfrac{P_{électrique\ utile}}{P_{el.utile} + P_{pertes}} = \dfrac{UI}{UI + P_{pertes}}$

b) en moteur : $\eta = \dfrac{P_{électrique\ absorbée} - P_{pertes}}{P_{elect.\ absorbée}} = \dfrac{UI - P_{pertes}}{UI}$

I = courant de ligne dans les deux cas.

III. Nomenclature des pertes

a) Pertes électriques: effet Joule.

Induit : P_{j1}

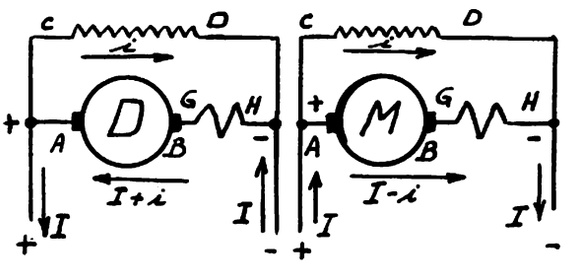
Auxiliaires : P_{j2}

Inducteurs : P_{j3}

b) Pertes magnétiques : dans le fer.

Hystérésis : P_h

Courants de Foucault : P_F



c) Pertes mécaniques :

Frottement dans les paliers et balais sur le collecteur : P_f

Ventilation : P_v

IV. Evaluation des pertes (appliquée à une machine compound)

a) PERTES ELECTRIQUES:

1) en dynamo : $P_{j1} + P_{j2} = (r_i + r_a)(I+i)^2$

$r_i + r_a$ = résistances d'induit + auxiliaires prises à chaud, résistance de contact des balais y comprise (entre A et H)

$$P_{j3} = r_s (I+i)^2 + Ui$$

r_s : résistance des enroulements série prise à chaud.

Ui : puissance mise en oeuvre dans les enroulements inducteurs shunt, rhéostat d'excitation y compris.

Total des pertes électriques : $P_{j1} + P_{j2} + P_{j3} = (r_i + r_a + r_s)(I+i)^2 + Ui$ (1)

2) en moteur : $P_{j1} + P_{j2} = (r_i + r_a)(I-i)^2$

et $P_{j3} = r_s(I-i)^2 + Ui$

Total des pertes électriques : $P_{j1} + P_{j2} + P_{j3} = (r_i + r_a + r_s)(I-i)^2 + Ui$ (2)

Les pertes électriques, ou pertes cuivre, sont indépendantes de la vitesse et ne dépendent que des courants dans les bobinages.

b) PERTES MAGNETIQUES : (dans l'induit)

Avec les tôles modernes, les pertes par hystérésis sont de la forme :

$$P_h = K' B_m^2 f V$$

B_m : induction; f : fréquence de rotation c-à-d. vitesse (N)

V : volume de tôles de l'induit, qui est constant pour une machine donnée; d'où:

$$P_h = K_1 B_m^2 N.$$

Les pertes par courant de Foucault sont de la forme :

$$P_F = K''(e f B_m)^2 \times V \times \frac{1}{\rho} = K_2 B_m^2 N^2$$

e et ρ : épaisseur et résistivité des tôles, constantes pour une machine construite.

P_h et P_F dépendent donc de l'induction, donc du flux et de la vitesse; elles sont indépendantes de la charge I.

c) PERTES MECANIQUES :

$$P_f = K_3 N \quad \text{et} \quad P_v = K_4 N^3$$

Elles ne dépendent que de la vitesse et, comme les pertes magnétiques, sont indépendantes de la charge.

V. Méthode de Swinburne

Elle consiste à évaluer, par des mesures électriques simples, toutes les pertes énumérées ci-devant. Nous l'appliquons ci-après aux cas de la dynamo et du moteur shunt.

PROBLEME I : Calcul de η pour la dynamo shunt.

Données : U, I, N ; U = 220 v. , I = 30 A., N = 1.000 t/min.

a) Pertes électriques:

Mesurer la résistance d'induit et des auxiliaires; soit par exemple :

$$r_i + r_a = 0{,}5\,\Omega$$

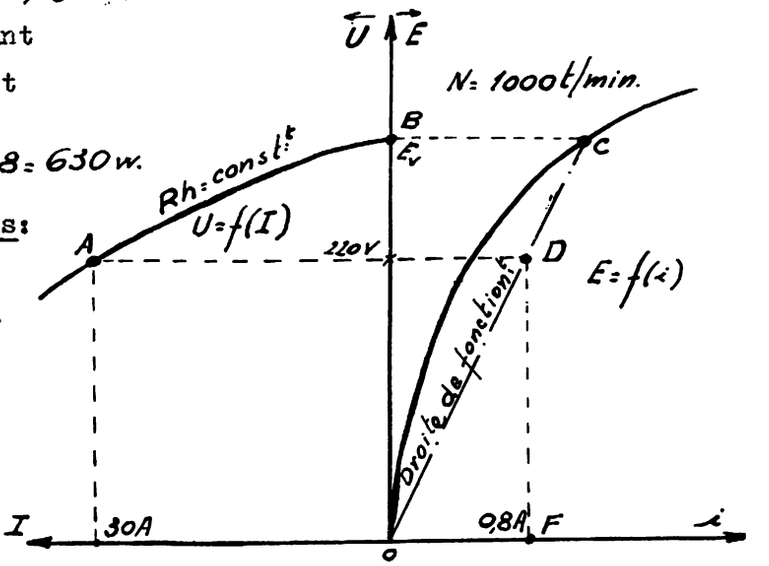
Pour appliquer la formule (1), il faut d'abord évaluer i ; pour cela, il faut se reférer aux courbes en charge et à vide de la machine.

Sur le réseau de courbes en charge, tracées à vitesse constante (N = 1.000 t/min.), on repère le point A (220 v., 30 A.); ce point fait partie d'une courbe en charge dont l'ordonnée à l'origine O B mesure la valeur de la F.E.M. ou tension à vide; on reporte cette ordonnée sur la courbe de magnétisation (point C); OC est la droite de fonctionnement sur laquelle la point D représente le point en charge

illustrant les conditions imposées : 220v., 30 A.

L'abscisse de D mesure le courant d'excitation de la machine en charge. Soit par exemple OF = 0,8 A. On a donc :

$$P_{j1} + P_{j2} + P_{j3} = 0{,}5(30+0{,}8)^2 + 220 \times 0{,}8 = 630\,w.$$



b) Pertes magnétiques et mécaniques:

Pour les déterminer, on fait tourner la machine en moteur à vide à excitation indépendante; la vitesse de la machine tournant ainsi en moteur à vide doit être rendue égale à la vitesse imposée (N = 1.000 t/min.); le flux doit être rendu égal au flux normal en charge c-à-d. au flux qui existe dans la dynamo lorsque celle-ci fonctionne dans les conditions de charge imposées. Cette deuxième condition est remplie si la F.E.M. est la même en charge et au cours de l'essai à vide; l'état magnétique de la machine sera ainsi le même en charge et en moteur à vide, de même que les pertes fer et mécaniques. On sait en effet que la F.E.M. développée en dynamo est : $E_{ch} = KN\Phi_{ch}$

La F.C.E.M. développée en moteur à vide, à la même vitesse est : $E_v = KN\Phi_v$

Pour avoir le même flux en dynamo chargée et en moteur à vide, il suffit donc d'avoir: $E_{ch} = E_v$; ainsi les pertes mécaniques et magnétiques seront les mêmes dans les deux cas. Mais on a : (dynamo shunt) en posant: $r = r_i + r_a$

$$E_{ch} = U + r(I+i) = 220 + 0{,}5(30+0{,}8) = 235{,}4\ v.$$

D'autre part, pour obtenir E_v en moteur à vide, à excitation indépendante, il faut l'alimenter sous U_v volts tels que : $U_v = E_v + rI_v$

Pour que E_{ch} soit égale à E_v , il faut donc : $U_v = U + r(I+i) - rI_v$

Or, à vide rI_v est négligeable; d'où : $U_v = 220 + 0{,}5(30+0{,}8) = 235{,}4\ v.$

En conclusion, pour évaluer les pertes magnétiques et mécaniques, il faut monter la machine en moteur à vide à excitation indépendante; on applique aux bornes de l'induit une tension $U_v = U + r(I+i)$; on règle le rhéostat de champ de façon à obtenir la vitesse N (1.000 t/min.).

Pendant l'essai à vide, on mesure le courant I_v absorbé par l'induit du moteur; la puissance absorbée $U_v I_v$ comprend :

1) les pertes mécaniques et magnétiques égales à celles de la dynamo en charge.
2) les pertes par effet Joule à vide rI_v^2 , très faibles, faciles à calculer puisqu'on connaît I_v et qui, en pratique, peuvent être négligées.

Les pertes magnétiques et mécaniques valent donc :

$$P_f + P_v + P_F + P_h = [U + r(I+i)]I_v - rI_v^2 \text{ (négligeable)}$$

Le rendement se calcule par la formule : $\eta = \dfrac{UI}{UI + r(I+i)^2 + Ui + [U + r(I+i)]I_v}$

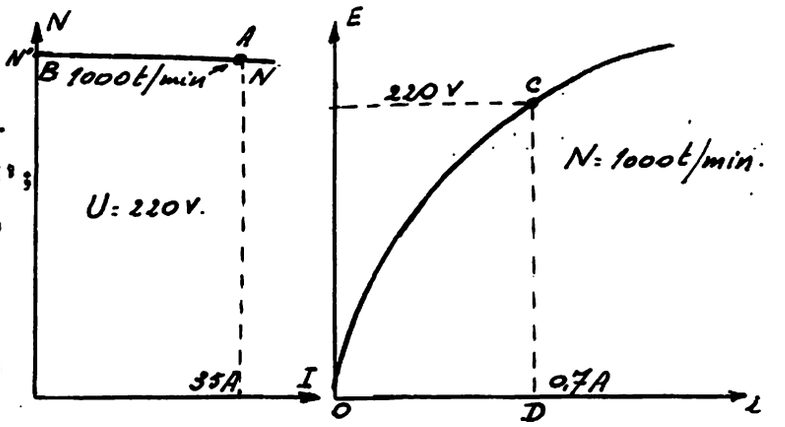
PROBLEME II: Calcul de η pour le moteur shunt

Données : U, I, N ; U = 220v., I = 35 A., N = 1.000 t/min.

a) Pertes électriques:

Il faut d'abord évaluer le courant d'excitation i du moteur en charge; pour cela, se reférer à la caractéristique de vitesse et à la courbe de magnétisation de la machine.

Soit A le point de fonctionnement envisagé (35 A., 1.000 t/min., 220 v.); il fait partie d'une caractéristique de vitesse dont l'ordonnée à l'origine vaut N'; en moteur shunt, N' ≅ N = 1.000; pour ce point B, on a I = 0 donc : $E_v \cong U$ = 220 v.; il y correspond sur la courbe de magnétisation un point C dont l'abscisse vaut O D par exemple 0,7 A.



Si N' est sensiblement différent de N, l'ordonnée de C doit être corrigée et prise égale à : $\frac{220 \times N}{N'}$

D'où les pertes électriques : $P_{J_1} + P_{J_2} + P_{J_3} = 0{,}5(35-0{,}7)^2 + 220 \times 0{,}7 = 744\ w.$

b) Pertes magnétiques et mécaniques :

Fonctionnement de la machine en moteur à vide sous quelle tension U_v ?

Il faut comme dans le cas de la génératrice : $E_{ch} = E_v$

Or, ici : $E_{ch} = U - r(I-i)$ et $E_v = U_v - rI_v$; rI_v : négligeable.

Donc : $U_v = U - r(I-i) = 220 - 0{,}5(35-0{,}7) = 202{,}85$ v.

Le moteur étant alimenté sous cette tension, on mesure I_v.

Le produit $U_v I_v$ mesure les pertes mécaniques et magnétiques augmentées de la perte par effet Joule négligeable $(rI_v^2 \cong 0)$

On a : $P_h + P_F + P_f + P_v = [U - r(I-i)]I_v$

Le rendement vaut : $\eta = \frac{UI - r(I-i)^2 - Ui - [U - r(I-i)]I_v}{UI}$

VI. Schéma et Montage

Si l'on se propose de déterminer les rendements pour diverses valeurs de la charge I, la tension U étant constante, il est commode de disposer de la courbe $U_v = f(I_v)$ tracée à vitesse constante.

La machine est cablée en moteur à vide à excitation indépendante; la vitesse est maintenue constante (1.000 t/min.) par la manoeuvre du rhéostat d'excitation.

Un ampèremètre mesure le courant d'induit I_v , un voltmètre mesure la tension d'induit. U_v.

VII. Mode opératoire pour l'essai à vide

a) PREPARATION:

Alimenter les inducteurs du moteur et s'assurer que cette excitation est bien réelle. Régler la tension d'alimentation U_v à 220 v. et démarrer le moteur; amener sa vitesse à 1.000 t/min.

b) EXPERIMENTATION:

Varier la tension d'alimentation U_v entre 250 et 180 v.; lire chaque intensité I_v correspondante; toute modification de U_v fait varier la vitesse; pour chaque relevé, ramener donc celle-ci à 1.000 t/min. à l'aide du rhéostat de champ. Tracer la courbe $U_v = f(I_v)$ pour N = 1.000 t/min.

VIII. Exercices

Disposant de cette courbe, calculer le rendement de la machine shunt fonctionnant dans les conditions suivantes :

a) Dynamo : U = 220 v. , N = 1.000 t/min.
I = 0, 5 A., 10 A., 20 A., 30 A., 40 A., 45 A.

b) Moteur: U = 220 v., N = 1.000 t/min.
I = 0, 5 A., 10 A., 20 A., 30 A., 40 A., 45 A.

Tracer sur la même feuille millimètrée les deux courbes de rendement en fonction de la puissance utile et comparer.

IX. Résultats

Le rendement d'une machine déterminée varie avec la charge; nul à vide, il augmente très vite quand la charge croît pour diminuer un peu quand la machine est surchargée.

Les pertes dont la machine est le siège ont pour effet d'augmenter sa température; dès que celle-ci dépasse la température ambiante, la machine perd de la chaleur par rayonnement, convection et ventilation. Bientôt un équilibre s'établit et la température de régime est atteinte lorsque la machine dissipe par refroidissement toute la chaleur qu'elle reçoit. La température de régime limite acceptable est régie par la bonne conservation des isolants; c'est donc finalement cette température limite qui fixe la puissance utile maximum de la machine.

Feuille d'essai n° 17

Caractéristique à vide, à vitesse constante.

Moteur Shunt n°

U_v		I_v		N	Observations
lu	corrigé	lu	corrigé		
$k_=$		$k_=$			

Notes diverses.

Notes diverses.

Notes diverses.

Date:

Rapport de l'essai n° 17

I. Préparation

a) But de l'essai

b) Machine étudiée

c) Schéma

d) Matériel utilisé

II. Exécution

III. Résultats et Conclusions

B.

Manipulations diverses

16ème Manipulation

Adaptation d'un voltmètre à un circuit de mesure

I. Objet

Pour mesurer la tension aux bornes d'une résistance, on utilise un voltmètre; un tel appareil introduit une perturbation dans le circuit, d'autant plus importante que sa résistance interne est faible.

II. Schéma et Montage

Une batterie d'accumulateurs (6 volts) débite un courant dans un circuit constitué de deux résistances en série (2 x 1.000 Ω); on considère la résistance interne de la batterie négligeable. La tension aux bornes de chaque résistance vaut donc : 3 volts.

III. Calculs

Déterminer par calcul (application de la loi d'Ohm) la tension que l'on mesurerait aux bornes d'une résistance de 1.000 ohms avec :

1) un voltmètre de 600 ohms de résistance interne.

2) un voltmètre de 1.000 ohms/volt utilisé sur sa sensibilité 3 volts (résistance interne : 3.000 ohms).

3) un voltmètre de 20.000 ohms/volt utilisé sur sa sensibilité 3 volts (résistance interne : 60.000 ohms).

IV. Mode opératoire

Connecter successivement aux bornes d'une résistance de 1.000 ohms, les voltmètres spécifiés ci-dessus. Noter pour chaque essai les valeurs indiquées par les appareils.

V. Résultats

Comparer les valeurs mesurées et calculées.

Les tensions mesurées avec les deux 1ers appareils sont inférieures à 3 volts; l'erreur (systématique) est d'autant plus grande que la résistance interne du voltmètre est faible. La tension mesurée avec le 3ème appareil est pratiquement égale à 3 volts; l'erreur de mesure est négligeable; c'est parce que sa résistance interne est élevée (60.000 ohms) vis-à-vis de la résistance aux bornes de laquelle il est branché. (1.000 ohms).

Feuille d'essai n° 18

Adaptation d'un voltmètre

Tension Batterie	Tensions aux bornes de 1000 Ω				Observations
	calculée	Mesurées			
		Voltmètre 1 R_i = 3000	Voltmètre 2 R_i = 670 Ω	Voltmètre 3 R_i =	
2,55 v	1,63 1,82	1,226	1,81		

Notes diverses

Avec deux voltmètres de résistances différentes les tensions sont sensiblement différentes et plus la resistance du voltmètre est ↗ plus la tension indiquée par le voltmètre s'approche de la réalité. A remarquer que le voltmètre indique vraiment la tension mais le fait de l'introduire dans un circuit que sa résistance produit une panne

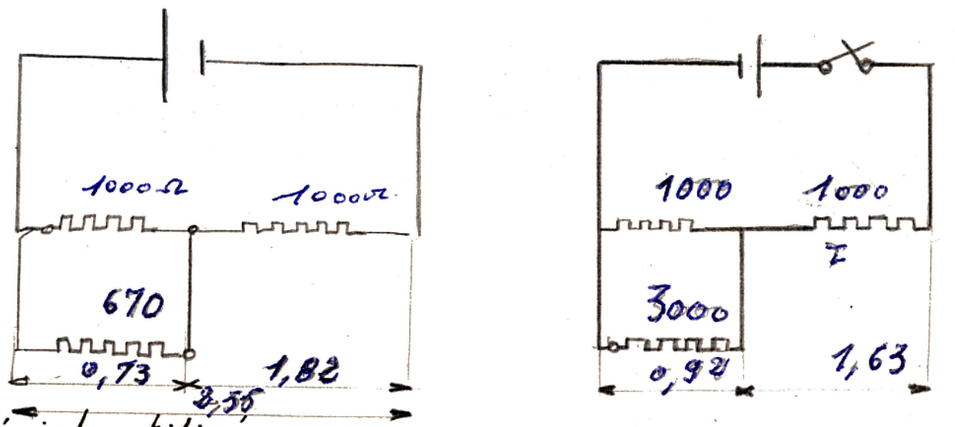
Date:

Rapport de l'essai n° 18

I Préparation

a) But de l'essai Influence de la résistance interne d'un voltmètre pour la mesure de la tension, elle doit avoir une valeur grande aussi que possible afin que I absorbé soit minimum.

b) Schéma



c) Matériel utilisé

Elements d'accus. dont la f.em est:
boite de resistance de 2 groupes de 1000Ω.
Voltmètre dont la resistance est: 670Ω.
Sensibile.

II Exécution

III. Résultats et Conclusions

L'erreur est plus grande quand la resistance du voltmètre est faible

Installation et schémas des générateurs et tables d'essais à courant alternatif.

I. Groupes générateurs

Au total, trois groupes générateurs seront mis en oeuvre pour exécuter les essais des machines C.A.

A. le 1er groupe comporte : Un moteur C.C. entraînant un alternateur et son excitatrice; ce groupe est utilisé spécialement pour effectuer les essais des alternateurs.

SCHEMA:

B. le 2ème groupe comporte : Un moteur compound entraînant un alternateur excité par le réseau C.C. à 110 volts; utilisé spécialement pour les essais des moteurs asynchrones.

SCHEMA:

C. le 3ème groupe comporte : Un moteur C.C. entraînant un alternateur et son excitatrice; sert spécialement aux essais des transformateurs.

SCHEMA:

II. Tables d'essais à C.A.

Dessin des connexions, interrupteurs et prises de tension des tables d'essais à courant alternatif.

MODE D'UTILISATION:

Bornes d'arrivée :

Bornes de départ :

Lames de fixation de la cartouche isolante :

Interrupteurs de mise en ou hors service des appareils de mesure :

Connexions pour raccordement de la bobine ampèremétrique d'un wattmètre :

Idem pour ampèremètre :

Interrupteur de mise en court-circuit de la bobine ampèremètrique d'un wattmètre :

Idem pour ampèremètre :

Prises de tension pour bobine voltmétrique d'un wattmètre :

Idem pour voltmètre et fréquencemètre :

III. Appareils de mesure à C.A.

Examiner les appareils C.A. qui seront ultérieurement utilisés et noter leurs caractéristiques ci-dessous (marque, sensibilité, nombre de divisions et disposition de celles-ci, signes distinctifs, type, etc....)

17ème Manipulation

Mesure d'un coefficient de self-induction.

I. Objet

Mesure du coefficient de self-induction des enroulements B.T. et H.T. d'un transformateur monophasé par la méthode de Joubert.

II. Principe de la méthode

On met en oeuvre la relation connue : $U = I\sqrt{r^2+\omega^2\mathcal{L}^2}$ entre la tension alternative, l'intensité et l'impédance de l'enroulement. On applique une tension U de fréquence f (pulsation ω) et on mesure l'intensité I dans le circuit; la mesure de U et I permet le calcul de l'impédance : $\mathcal{Z} = \frac{U}{I} = \sqrt{r^2+(\omega\mathcal{L})^2}$

On mesure ensuite la résistance ohmique r de l'enroulement, en courant continu par la méthode du voltmètre et de l'ampèremètre. La connaissance de r et $\mathcal{Z}$ permet de calculer $\omega\mathcal{L}$; on a : $\omega\mathcal{L} = \sqrt{\mathcal{Z}^2 - r^2}$

Si l'on connaît la fréquence f, qu'il suffit de mesurer (fréquencemètre) en même temps que U et I, le calcul de $\mathcal{L}$ est immédiat.

III. Montage et Mode opératoire

1) MESURE DE r : (enroulements B.T. et H.T.)

Connecter une résistance règlable (rhéostat de démarrage pour moteur CC) en série avec l'enroulement pour limiter le courant dans celui-ci; alimenter l'ensemble par une batterie d'accumulateurs; lire simultanément le courant et la tension aux bornes de l'enroulement. Effectuer 3 ou 4 lectures en changeant de l'une à l'autre l'intensité du courant.

2) MESURE DE $\mathcal{Z}$:

Connecter l'enroulement aux bornes de sortie de la table d'essais; disposer judicieusement 1 voltmètre, 1 ampèremètre et 1 fréquençemètre. Alimenter par une tension (monophasée) de valeur bien adaptée. Lire simultanément U, I, f.

IV. Calculs et Résultats

Le quotient des deux mesures conjuguées (et corrigées) en C.C. fournit la valeur de la résistance ohmique r . Le quotient des 2 mesures (corrigées) en CA fournit celle de l'impédance $\mathcal{Z}$. D'où le calcul de $\mathcal{L}$.

On constate que la résistance ohmique r est négligeable vis-à-vis de la réactance $\omega\mathcal{L}$.

Notes diverses.

Feuille d'essai n° 19

Mesure dun Coefficient de Self-induction

Transformateur n°

I. Résistances ohmiques

U continu		I continu		R calculées		Observations
lu	corrigé	lu	corrigé	B.T.	H.T.	
k=		k=				

II Impédances

U alternatif		I alternatif		Z calculées		Observations
lu	corrigé	lu	corrigé	B.T.	H.T.	
k=		k=				

Date:

Rapport de l'essai n° 19

I Préparation

a) But de l'essai

b) Machine étudiée

c) Schémas

d) Matériel utilisé

II Exécution

III Résultats et Conclusions

18ème Manipulation.

Mesure de la puissance d'un récepteur monophasé

I. Objet

Mesurer la puissance absorbée à vide par un transformateur monophasé.
Déterminer le facteur de puissance correspondant.

II. Schéma et Montage

Le transformateur est alimenté par son enroulement B.T. Un wattmètre mesure la puissance absorbée; un ampèremètre et un voltmètre mesurent respectivement la tension d'alimentation et l'intensité absorbée. Un fréquencemètre contrôle la fréquence de la source.

III. Mode opératoire

Régler la tension d'alimentation à la valeur normale - voir la plaque signalétique du transformateur -. La fréquence étant réglée à 50 Hz, lire simultanément la puissance, la tension et l'intensité de courant absorbée.

IV. Calculs et Résultats

La puissance absorbée par le transformateur à vide équivaut à la somme des pertes par effet Joule primaire (assez faibles) et des pertes par hystérésis et courants de Foucault. Calculer et comparer les premières avec les pertes totales. Déduire les secondes. Déterminer la valeur du facteur de puissance à vide en utilisant la formule connue : $\cos\varphi = \frac{P}{UI} = \frac{P}{P_a}$, quotient de la puissance active (ou wattée) et de la puissance apparente.

Un transformateur à vide fonctionne sous un $\cos\varphi$ très faible.

REMARQUE : Calculer le facteur de puissance par la formule $\cos\varphi = \frac{r}{Z}$, les valeurs de r et Z étant fournies par l'essai N°19. On trouve un résultat beaucoup plus faible que le précédent, résultat d'ailleurs erroné: c'est parce que la formule actuelle $\cos\varphi = \frac{r}{Z}$ n'est pas applicable aux cas des récepteurs qui sont le siège de pertes magnétiques ou diélectriques; la formule est seulement applicable si toute la puissance mise en oeuvre est dissipée sous forme d'effet Joule dans les enroulements. Exemple : bobine à air ou à noyau très bon isolant.

Notes diverses.

Feuille d'essai n° 20

Mesure de la puissance d'un récepteur monophasé

Transformateur n°

U		I		P		Observations
lu	corrigé	lu	corrigé	lu	corrigé	
k=		k=		k=		

Notes diverses

Date :

Rapport de l'essai n° 20

I. Préparation

a) But de l'essai

b) Machine étudiée

c) Schéma

d) Matériel utilisé

II Exécution

III Résultats et Conclusions

19ème Manipulation

Courbe de magnétisation relevée en C.A.

I. Objet : Relever expérimentalement la courbe de magnétisation d'un tore feuilleté, en courant alternatif. $B_m = f(I)$, f = constante

II. Schéma et Montage

Le tore utilisé, de section S = 8,6 cm2, comporte : 1 enroulement primaire et un enroulement secondaire de n_2 = 50 spires.

Le primaire est connecté aux bornes de sortie de la table d'essais; un ampèremètre mesure le courant primaire I absorbé; un voltmètre et un fréquencemètre contrôlent respectivement la fréquence et la tension d'alimentation; la fréquence doit être maintenue rigoureusement constante (50 Hz).
Un second voltmètre mesure la tension induite aux bornes du secondaire. U_2

III Mode opératoire

1) PREPARATION: Par application de la formule de Boucherot:
$U_2 = 4{,}44\, n_2 f B_m S\, 10^{-8}$ volts dans laquelle B_m (amplitude de l'induction) est exprimée en Gauss et S (section) l'est en cm2, calculer les valeurs de la tension secondaire U_2 donnant lieu aux inductions suivantes :
B_m : 5.000, 7.500, 12.500, 15.000 et 17.500 Gauss.

2) EXPERIMENTATION: Alimenter le primaire par des tensions de valeurs telles que l'on obtienne au secondaire, les tensions U_2 calculées ci-devant. Noter les intensités I (primaires) correspondantes.
Tracer la courbe $B_m = f(I)$ à f = 50 Hz.

IV. Résultats

La courbe de magnétisation montre que l'induction B_m (donc le flux) est proportionnelle au courant qui lui donne naissance tant que celui-ci est assez faible; la pente de la partie initiale de la courbe est relativement élevée; la perméabilité ($\mu = \frac{B_m}{\mathcal{H}}$) est grande dans cette région; on dit que le fer n'est pas saturé.
Pour des valeurs plus élevées de l'intensité primaire, la courbe s'incurve (coude de saturation) dans la deuxième partie rectiligne, qui suit le coude, le courant est intense; il faut augmenter beaucoup le courant (donc le champ $\mathcal{H}$) pour obtenir une faible augmentation de l'induction: le fer est dit saturé; sa perméabilité est alors faible.

Notes diverses.

Feuille d'essai n° 21

Courbe de magnétisation

Relevée en C.A.

Tore magnétique n°

U		I		f	B_{max}	Observations.
lu	corrigé	lu	corrigé			
k=		k=				

Date:

Rapport de l'essai n° 21

I Préparation

a) But de l'essai

b) Tore étudié

c) Schéma

d) Matériel utilisé

II Exécution

III Résultats et Conclusions

20ème Manipulation

Courbes des pertes magnétiques

I. Objet

Relevé expérimental des courbes illustrant la variation des pertes par hystérésis et courants de Foucault :

a) en fonction de l'induction B_m à fréquence f constante.

b) en fonction de la fréquence f à induction B_m constante.

II Schéma et Montage

Utiliser le même tore et le même schéma que dans l'essai précédent mais intercaler un wattmètre dans le circuit primaire.

III. Mode opératoire

A. COURBE PERTES $P_H + P_F = f(B_m)$; $f = 50$ Hz

1) Préparation: voir essai N° 21. Reprendre les mêmes valeurs de B_m et U_2

2) Expérimentation:

La fréquence étant maintenue constante (50 Hz) alimenter le primaire pour obtenir au secondaire les tensions U_2 calculées précédemment. Lire simultanément la puissance absorbée par le primaire, le courant I qui le traverse et la tension U_2 .

B. COURBE PERTES $P_H + P_F = f(f)$; $B_m = 15.000$ gauss

1) Préparation:

Par application de la formule de Boucherot, calculer les valeurs de la tension U_2 lorsque, l'induction valant B_m = 15.000 Gauss, la fréquence est respectivement de : 35, 40, 45, 50 et 55 Hz.

2) Expérimentation:

Alimenter successivement le primaire par des tensions de ces fréquences et de valeurs telles que l'on obtienne au secondaire les tensions U_2 correspondantes et calculées ci-devant. Lire simultanément la puissance absorbée, le courant primaire I, la fréquence et la tension U_2 .

IV. Calculs et Résultats

Les puissances mesurées judicieusement diminuées de l'effet Joule primaire (rI^2) fournissent les valeurs des pertes $P_H + P_F$. Le poids de fer du tore étant de 6,2 kg, tracer :

a) la courbe des pertes exprimées en watts/kg, en fonction de B_m et pour f = 50 Hz; la courbe des mêmes pertes en fonction du carré de l'induction.

b) la courbe des pertes exprimées en watts/kg, en fonction de la fréquence f pour une valeur maintenue constante de l'induction et égale à 15.000 Gauss.

On constatera que la courbe tracée en fonction du carré de l'induction est sensiblement une droite.

JUSTIFICATION:

Les pertes par hystérésis sont de la forme: $P_H = K_1 V f B_m^{1,6} \simeq K_1 V f B_m^2$ et celles par courant de Foucault: $P_F = K_2 f^2 B_m^2 e^2 \frac{1}{\rho} \cdot V$, expressions dans lesquelles V = volume des tôles, f = fréquence, e = épaisseur des tôles, ρ = résistivité des tôles et B_m = amplitude de l'induction.

Pour une machine donnée V , e et ρ sont fixes; on peut en déduire que, pour un transformateur donné, alimenté à fréquence constante, les pertes fer sont sensiblement proportionnelles au carré de l'induction donc au carré de la tension d'alimentation; la caractéristique $P_H + P_F = f(B_m)$ est donc sensiblement une droite. Les pertes fer normales sont bien entendu, données par l'ordonnée de la caractéristique dont l'abscisse mesure l'induction normale (donc la tension normale).

Pourquoi les pertes par courants de Foucault sont-elles proportionnelles aux carrés de la fréquence et de l'induction ? On sait que les courants de Foucault sont des courants induits dans les tôles par des variations de flux; leurs intensités sont donc proportionnelles à la valeur maximum du flux inducteur et à la vitesse de variation de ce flux ($\frac{\Delta \phi}{\Delta t}$), c'est-à-dire à la fréquence : $i_F = K \phi_m f = K' B_m f$

Ils circulent dans des plans perpendiculaires aux lignes de force selon des trajectoires de résistance r; ils donnent naissance à des pertes Joule (dans les tôles) de la forme : $P_F = \Sigma r i_F^2 = \Sigma r (K' B_m f)^2$ soit : $P_F = K'' B_m^2 f^2$

Notes diverses

Feuille d'essai n° 22

Pertes magnétiques

Tore magnétique n°

I. En fonction de B_{max} à f constante. (50 pér/sec)

B_{max}	U_2		I		P_{totale}		rI^2 calculées	P_{Fer}	p w/Kg	B^2_{max}
	lu	corrigé	lu	corrigé	lu	corrigé				
	k=		k=		k=					

II. En fonction de f à B_{max} constante (15.000 gauss)

f	U_2		I		P_{totale}		rI^2 calculées	P_{Fer}	p w/Kg	Obs.
	lu	corrigé	lu	corrigé	lu	corrigé				
	k=		k=		k=					

Date:

Rapport de l'essai n° 22

I. Préparation

a) But de l'essai

b) Tore étudié

c) Schéma

d) Matériel utilisé

II Exécution

III Résultats et Conclusions

21ème Manipulation

Mesure de la puissance d'un récepteur triphasé

I. Objet

Mesurer la puissance absorbée par un transformateur triphasé fonctionnant à vide.

II. Montage et Mode opératoire

Utiliser un des transformateurs triphasés du laboratoire alimenté par les enroulements B.T. sous la tension normale à vide et à fréquence normale. Exécuter successivement les montages illustrant les méthodes connues suivantes:

1) METHODE DES 3 WATTMETRES AVEC POINT NEUTRE ACCESSIBLE

Enroulements B.T. (lettres minuscules) couplés en étoile. Exécuter la mesure avec un seul wattmètre en 3 coups (1 mesure par phase) et en ayant soin de maintenir constantes, pour les 3 lectures, la fréquence et la tension. La puissance totale vaut la somme algébrique des 3 puissances partielles.

2) METHODE DES 3 WATTMETRES AVEC POINT NEUTRE ARTIFICIEL

a) Enroulements B.T. couplés en étoile.

Mêmes opérations. Tenir compte dans le montage que le point neutre artificiel sera constitué avec une seule boîte de résistances additionnelles à prises intermédiaires. Choisir à bon escient les valeurs des résistances à mettre en oeuvre.

b) Enroulements B.T. couplés en triangle.

Mêmes remarques quant au montage des appareils et de la boîte de résistances additionnelles. Alimenter le transformateur par une tension telle que celui-ci fonctionne dans les mêmes conditions de flux que précédemment.

3) METHODE DES 2 WATTMETRES.

a) Enroulements B.T. couplés en étoile.

Faire la mesure avec un seul wattmètre en deux coups. La puissance totale vaut la somme algébrique des puissances partielles: une lecture peut en effet être négative et doit être soustraite de l'autre.

b) Enroulements B.T. couplés en triangle.

Idem, mais alimenter par une tension de valeur telle que le transformateur fonctionne dans les mêmes conditions de flux que sous a).

REMARQUE:

Dans chaque montage , introduire un ampèremètre pour comparer les intensités de courant dans les différentes phases du transformateur selon les couplages utilisés.

III. Calculs et Résultats

On ne peut,dans le cas étudié,se contenter de mesurer la puissance absorbée par une phase et de multiplier par 3 le résultat obtenu car le transformateur à vide constitue un récepteur déséquilibré ; les courants dans les 3 phases sont inégaux parce que les réluctances de leur circuit magnétique sont différents (comparer la longueur et la section des trajectoires des lignes de force de chaque phase).

Les résultats de la mesure exécutée par la méthode des 2 wattmètres permettent la détermination directe du facteur de puissance.On démontre en effet que (voir cours de Technologie électrique): $tg\,\varphi = \sqrt{3}\,\frac{P_2 - P_1}{P_2 + P_1}$

Connaissant $tg\,\varphi$ on peut calculer $\cos\varphi$ par la formule : $\cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + tg^2\varphi}}$

Mais il est plus aisé de se référer à la courbe $\cos\varphi = f\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$ qui illustre graphiquement les 2 relations précédentes.

Feuille d'essais n°s 23, 24 et 25

Mesure de la puissance d'un récepteur triphasé

Transformateur n°

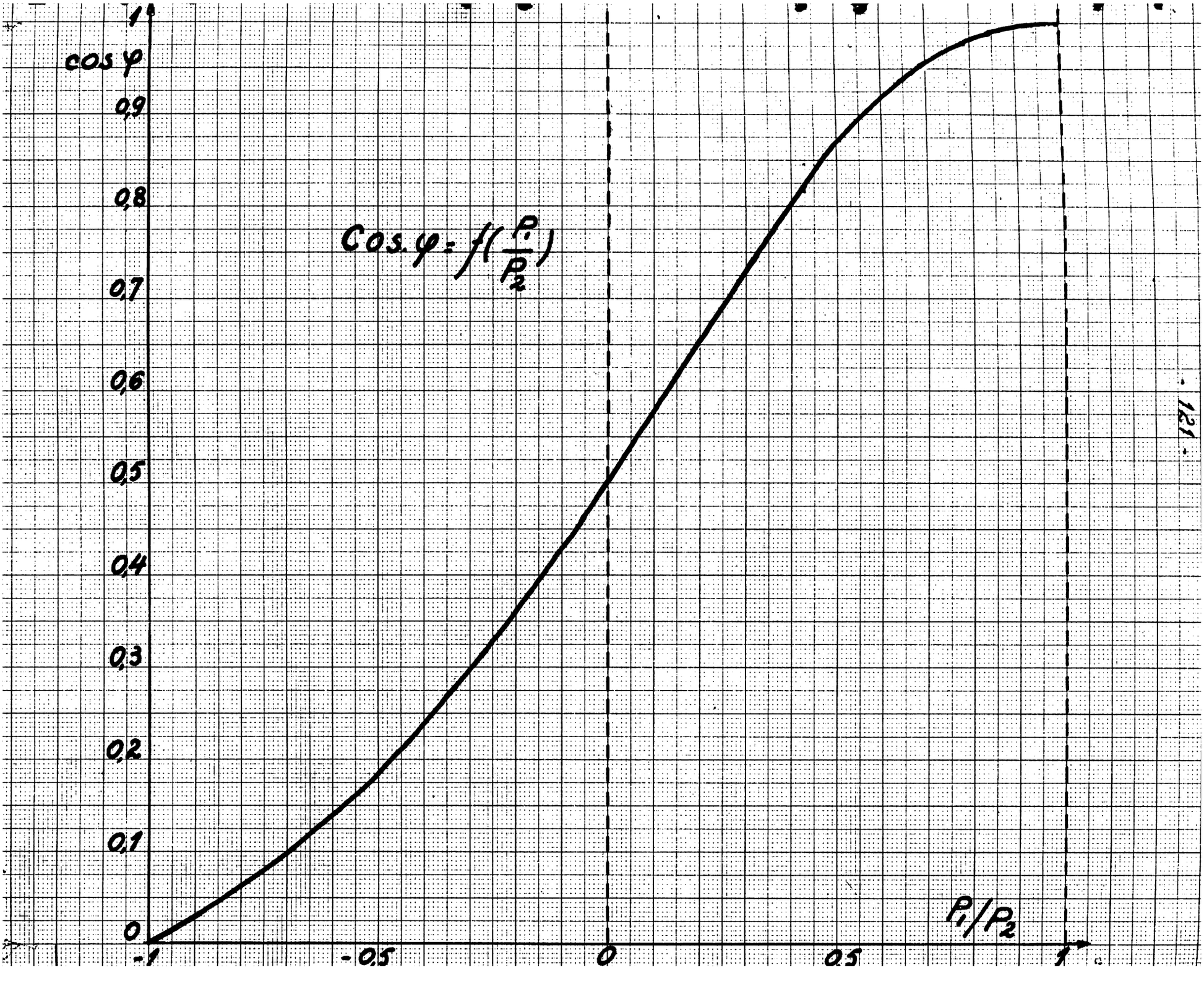
Phase	U		I		$P_{partielles}$		P_{totale}	Observations
	lu	corrigé	lu	corrigé	lu	corrigé		
I. Méthode des 3 wattmètres avec neutre accessible								
II. Méthode des 3 wattmètres avec neutre artificiel								
a) Couplage étoile ⅄								
b. Couplage triangle △								

Commun	U		I		P Partielles		P totale	cos φ	observations
	lu	corrigé	lu	corrigé	lu	corrigé			

III. Méthode des 2 wattmètres

a.) Couplage étoile ⅄

b) Couplage triangle △


cos φ
1
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
-1
-0,5
0
0,5
1
Cos. φ = f(P1/P2)
P1/P2

Notes diverses.

Date:

Rapport des essais 23, 24, 25

I Préparation

a) But des essais

b) Machine étudiée

c) Schémas

3 wattmètres avec neutre accessible

3 wattmètres avec neutre artificiel

couplage ⅄

3 wattmètres avec neutre artificiel

couplage △

2 wattmètres . couplage ⅄

2 wattmètres . couplage △

d) Matériel utilisé

II Exécution

III Résultats et Conclusions

2ème Partie

Caractéristiques et Essais des Machines à courant alternatif

Généralités

Les méthodes permettant la détermination des chutes de tension et du rendement des transformateurs et des alternateurs peuvent être classées en 2 catégories:

1) les méthodes directes.
2) les méthodes indirectes.

Généralement , quand il s agit de machines de grosse puissance,il est impossible de les faire fonctionner en charge à l'usine;ce procédé exige ,en effet ,une dépense importante d'énergie et des récepteurs capables de dissiper celle-ci;les méthodes directes sont coûteuses.

Par contre les méthodes indirectes ne nécessitent que des essais simples qui ne mettent en jeu qu'une faible puissance;les résultats qu'elles fournissent sont moins exacts mais sont assez approchés pour suffire en pratique.

Dans les notes suivantes il sera question:

1) de la méthode indirecte de KAPP pour la détermination de la chute de tension des transformateurs.

2) de la méthode de POTIER pour celle des alternateurs.

L'exposé théorique des deux méthodes fait l'objet de l'introduction du chapître qui la concerne.La méthode de HEYLAND qui conduit à la construction du diagramme du cercle des moteurs asynchrones sera passée sous silence car elle sort du cadre de ce cours.

Transformateurs.

Préliminaires théoriques:

Exposé de la méthode de Kapp.

I. Objet:

1) La tension secondaire U_2 d'un transformateur, alimenté à tension primaire constante U_1, varie lorsque la charge I_2 et le facteur de puissance $\cos\varphi_2$ varient.

2) La caractéristique externe est la courbe (on démontre que c'est une droite) qui montre comment varie U_2 en fonction de I_2 lorsque $\cos\varphi_2$ est maintenu constant; elle illustre la chute de tension du transformateur.

3) Un réseau de caractéristiques externes est un ensemble de telles courbes à chacune desquelles il correspond un $\cos\varphi_2$ donné et maintenu constant.

La méthode indirecte de KAPP permet de tracer un tel réseau sans l'aide d'essais en charge.

II. Rappel du diagramme de fonctionnement en charge

SYMBOLES: au secondaire: U_2, I_2, $\cos\varphi_2$, r_2, l_2 et n_2

au primaire: U_1, I_1, $\cos\varphi_1$, r_1, l_1 et n_1

l_1 et l_2 : coefficients de self-fuite du primaire et du secondaire.

HYPOTHESE DE KAPP : A.-T. magnétisants nuls, c-à-d. $\overline{n_1 I_1} + \overline{n_2 I_2} = 0$

I_1 et I_2 sont donc en opposion de phase.

EQUATIONS ET DIAGRAMME:

Secondaire: (générateur)

en valeurs instantanées: $\Sigma e = u + \Sigma r i$

en valeurs vectorielles: $\overline{E_2} + \omega \overline{l_2 I_2} = \overline{U_2} + \overline{r_2 I_2}$

ou: $\overline{E_2} = \overline{U_2} + \overline{r_2 I_2} - \omega \overline{l_2 I_2}$

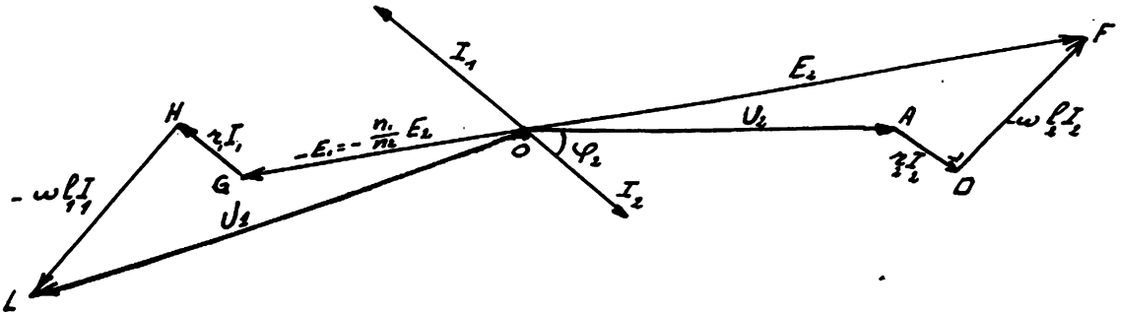
Primaire: (récepteur)

en valeurs instantanées: $u + \Sigma e = \Sigma r I$

en valeurs vectorielles: $\overline{U_1} + \overline{E_1} + \omega \overline{l_1 I_1} = \overline{r_1 I_1}$

ou: $\overline{U_1} = -\overline{E_1} + \overline{r_1 I_1} - \omega \overline{l_1 I_1}$

On trace le diagramme en partant des vecteurs U_2 et I_2 supposés connus en grandeur et en phase.



RAPPORT DE TRANSFORMATION A VIDE:

$$\begin{cases} m = \frac{n_2}{n_1} = \frac{U_2(vide)}{U_1} \simeq \frac{E_2}{E_1} \text{ car } U_2(vide) = E_2 \text{ et } U_1 \simeq E_1 \text{ à vide} \\ m = \frac{I_1}{I_2} \end{cases}$$

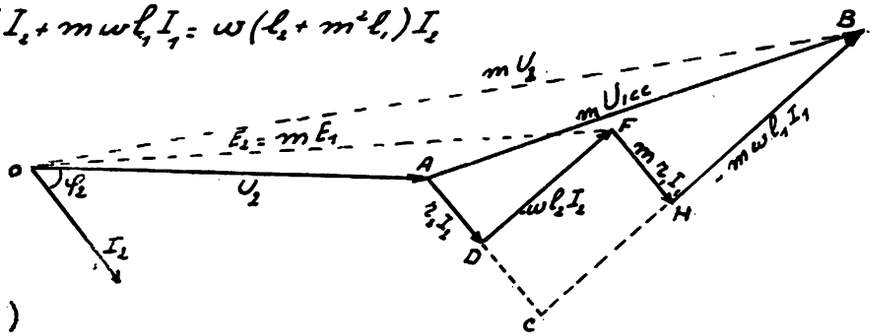
On ramène tous les vecteurs au secondaire

Pour cela on multiplie tous les vecteurs primaires par m et on leur applique une rotation de 180°. Le vecteur OG devient $mE_1 = E_2$ et après rotation le point G vient en F, le point L vient en B, le vecteur OL devenant $OB = mU_1$; BH et FD sont parallèles de même que AD et FH.

Prolongeons AD et BH jusqu'en leur point de rencontre C ; joignons AB ; le triangle rectangle ABC est le triangle fondamental de KAPP. Ses côtés valent:

$$AC = AD + DC = AD + FH = r_2 I_2 + m r_1 I_1 = (r_2 + m^2 r_1) I_2$$

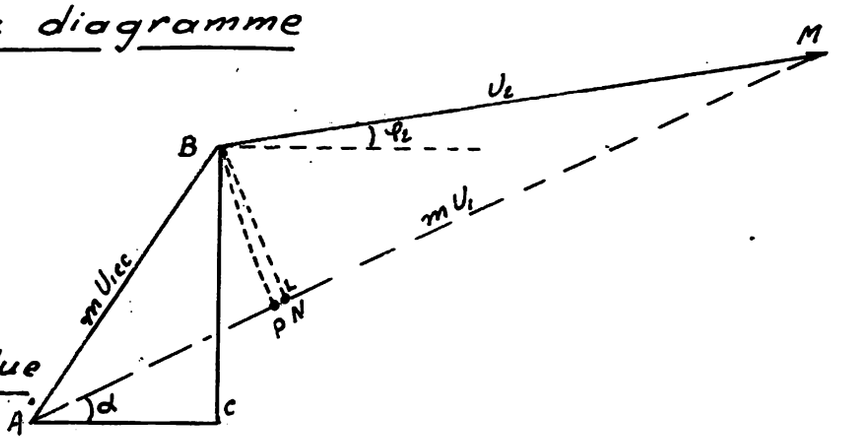
$$BC = CH + HB = DF + HB = \omega \ell_2 I_2 + m \omega \ell_1 I_1 = \omega(\ell_2 + m^2 \ell_1) I_2$$



AB représente la tension primaire multipliée par m qu'il faut appliquer au transformateur pour obtenir les courants normaux lorsque $U_2 = 0$ (c-à-d. lorsque $OA = 0$)

C'est donc la tension primaire de court-circuit à courants normaux: $AB = mU_{1cc}$

Autre disposition du diagramme



Le point A est reporté à l'origine, AC est dessiné horizontalement et le vecteur U_2 est porté à partir du point B avec la phase φ_2 qui le caractérise.

Chute de tension absolue à $\cos\varphi_2$ constant

DEFINITION : Différence entre la tension secondaire à vide et la tension secondaire en charge: $\varepsilon = U_2(vide) - U_2$ à $\cos\varphi_2$ constant

Or à vide: $U_{2(vide)} = E_2 = m U_1$ donc: $\mathcal{E} = m U_1 - U_2$

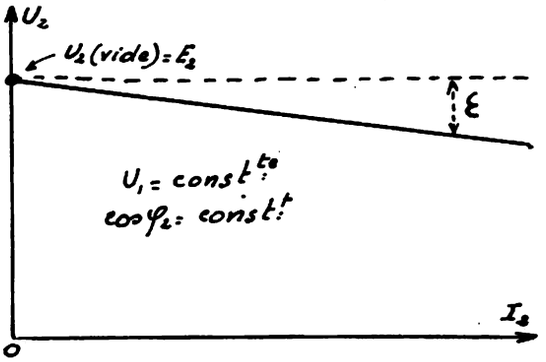
Abaissons la perpendiculaire de B sur AM ;soit BN ;traçons l'arc BP de centre M et de rayon $BM = U_2$. On a:

$$\mathcal{E} = m U_1 - U_2 = AM - BM = AM - PM \cong AM - MN = AN$$

car en pratique le vecteur BM est très grand vis-à-vis des dimensions du triangle ABC. Mais $AN = AC \cos\alpha + BC \sin\alpha$;or $\alpha \cong \varphi_2$ pour la même raison;d'où:

$AN = AC \cos\varphi_2 + BC \sin\varphi_2$ c.à.d: $\underline{\mathcal{E} = \left[(r_2 + m^2 r_1)\cos\varphi_2 + \omega(\ell_2 + m^2 \ell_1)\sin\varphi_2\right] I_2}$

A facteur de puissance secondaire constant ($\cos\varphi_2$ = constant) et à tension primaire U_1 invariable,la chute de tension est donc proportionnelle à I_2 ;la caractéristique externe est donc une droite.



<u>REMARQUE:</u>

Puisque la caractéristique externe est une droite,il suffit d'en connaître 2 points pour la déterminer complètement:

1) le point d'abscisse nulle($I_2 = 0$) dont l'ordonnée vaut: $U_2(vide)$ et fourni par un essai à vide ($m = \frac{U_2(vide)}{U_1}$).

2) le point d'abscisse I_2 normal par exemple dont l'ordonnée diffère du précédent de la valeur égale à la chute de tension $\mathcal{E}$;cette chute de tension peut être calculée par la formule précédente dans laquelle les expressions $(r_2 + m^2 r_1) I_2$ et $\omega(\ell_2 + m^2 \ell_1) I_2$ seront déterminées grâce à un essai en court-circuit à tension primaire réduite. (U_{1cc})

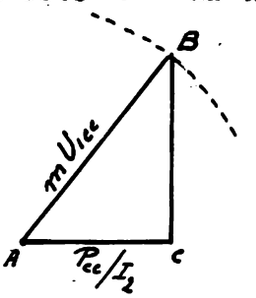
III. Détermination de la chute de tension par l'essai en c^t-circuit

Court-circuitons le secondaire et alimentons le primaire à tension réduite de façon à obtenir les courants normaux I_1 et I_2 .On mesure U_{1cc}, P_{cc}, I_1 ou I_2.

La puissance mesurée P_{cc} compense uniquement les pertes Joule:

$$P_{cc} = r_1 I_1^2 + r_2 I_2^2 = r_1 m^2 I_2^2 + r_2 I_2^2 = (r_2 + m^2 r_1) I_2^2$$

En divisant par I_2 la puissance mesurée,on obtient le côté AC du triangle de KAPP,représentant la chute de tension ohmique exprimée en volts.A l'échelle on dessine ce côté ; traçons l'arc de cercle de rayon $m U_{1cc}$ et élevons de C la perpendiculaire à AC qui coupe cet arc en B ; BC est le deuxième côté du triangle de KAPP;on le mesure et le divise par l'échelle choisie;le résultat fournit la valeur de la chute de tension selfique $\omega(\ell_2 + m^2 \ell_1) I_2$ exprimée en volts.



Connaissant $(r_2 + m^2 r_1) I_2$, $\omega (\ell_2 + m^2 \ell_1) I_2$ et s'étant fixé un facteur de puissance $\cos \varphi_2$,il suffit de calculer ε pour déterminer complètement la caractéristique externe.

REMARQUES:

1)Il n'est pas nécessaire de réaliser l'essai en court-circuit à courants normaux:puisque la chute de tension est proportionnelle aux courants;on peut donc opérer à 1/2 charge par exemple et doubler les résultats pour obtenir la chute de tension à 4/4 charge.

2)On peut également exécuter l'essai en court-circuit en alimentant le secondaire et en court-circuitant le primaire;on mesure alors: U_{2cc}, P_{cc}, I_2 ou I_1.
La construction du triangle est identique;noter que : $m U_{1cc} = U_{2cc}$

3)On peut aussi tracer le triangle de KAPP rapporté au primaire en divisant tous les vecteurs secondaires par m

4)Pour éviter les erreurs il faut,lors des essais des transformateurs triphasés,ramener les mesures et les résultats obtenus par phase

IV. Chute de tension exprimée en %

On appelle ainsi le rapport: $\varepsilon\% = \frac{\varepsilon \times 100}{U_2 (vide)} = \frac{m U_1 - U_2}{U_2 (vide)} \times 100$
de la chute de tension absolue et de la tension secondaire à vide.

22ème Manipulation

Mesure des résistances ohmiques des enroulements

I. Objet:

Mesurer la résistance par phase des enroulements B.T. d'un transformateur triphasé.Cette mesure n'est sans doute pas nécessaire pour la détermination de la chute de tension et du rendement mais elle permettra de comparer les pertes Joule calculées et celles fournies par l'essai en court-circuit.

MTHODE UTILISEE:d'Ohm de l'ampèremètre et du voltmètre.

II. Schéma. Montage et Mode opératoire

a) Enroulements B.T. : $a_0 a_1$; $b_0 b_1$; $c_0 c_1$.

Connecter ces 3 enroulements simultanément en série avec un rhéostat de démarrage (pour limiter le courant à 5 A.) et alimenter l'ensemble par une batterie d'accumulateurs.Lire simultanément l'intensité de courant et la tension aux bornes de chaque enroulement (voltmètre à touches).Effectuer 2 ou 3 lectures en changeant de l'une à l'autre,l'intensité de courant (rhéostat).Enlever le voltmètre avant de rompre le courant (extra-courant de rupture).

b) Enroulements H.T. : $A_0 A_1$; $B_0 B_1$; $C_0 C_1$.

Même méthode.

III. Calculs et Résultats

Le quotient des lectures conjuguées,judicieusement corrigées,fournit la valeurs des résistances des phases 1 , 2 , 3 ,B.T. et 1 , 2 , 3 , H. T.

Considérer comme résistance primaire B.T.,la valeur r_1 moyenne des 3 premières et comme résistance secondaire H.T.,la valeur r_2 moyenne des 3 autres.

Calculer ces résistances à chaud.

IV. Examen de la plaque signalétique

Noter ci-dessous les indications de cette plaque.

Notes diverses.

Feuille d'essai n° 26

Résistances ohmiques

Transformateur n°

Enroulement	Phase	U		I		$R = \frac{U}{I}$	Observations
		lu	corrigé	lu	corrigé		
		k=		k=			

Date:

Rapport de l'essai n° 26

I Préparation

a) But de l'essai

b) Machine étudiée

c) Schéma

d) Matériel utilisé

II Exécution

III Résultats et Conclusions

23ème Manipulation.

Mesure du rapport de transformation.

I. Objet: 1) Mesure en monophasé permettant de vérifier le rapport de transformation pour chaque noyau.

2) Mesure en triphasé permettant la vérification du couplage.

3) Comparaison avec le rapport de transformation théorique.

II. Schéma et Montage en monophasé

Connecter successivement les 3 phases B.T.aux bornes de sortie de la table d'essais ; raccorder un voltmètre au primaire et un voltmètre (avec transformateur de potentiel) au secondaire correspondant.

III. Mode opératoire en monophasé

Alimenter la B.T.par une tension U_2 n'excédant pas 130 volts .Lire simultanément lesvaleurs de U_1 et U_2 .Eventuellement exécuter 2 ou 3 mesures en changeant de l'une à l'autre la tension primaire.

IV. Schéma et montage en triphasé

Coupler les enroulements B.T.en étoile et connecter les sommets de l'étoile aux bornes de sortie de la table d'essais;coupler les enroulements H.T.en étoile Disposer un voltmètre entre 2 lignes primaires et un voltmètre (avec transformateur de potentiel)entre les 2 sommets correspondants de l'étoile secondaire.

V. Mode opératoire en triphasé

Alimenter la B.T.par une tension U_1 n'excédant pas 220 volts;l'exécution de l'essai sera conduite comme en monophasé.

Déconnecter ensuite le neutre H.T.et disposer le 2ème voltmètre(avec T.p.)entre les bornes de l'une ou de l'autre phase H.T.

REMARQUE:

Pour éviter l'emploi d'un transformateur de potentiel on peut dans le cas actuel,alimenter en 220 volts par la H.T.et mesurer simultanément cette tension et celle recueillie aux bornes des enroulements B.T.

VI. Calculs et Résultats

En monophasé le calcul est immédiat : $m = \frac{U_2}{U_1}$

Le rapport de transformation considéré sera celui obtenu en faisant la moyenne des résultats obtenus pour les 3 phases.

En triphasé il faut tenir compte du couplage :

1) en ⅄ ⅄ :

$$m = \frac{U_2\,(\text{par phase})}{U_1\,(\text{par phase})} = \frac{U_2\,(\text{ligne})/\sqrt{3}}{U_1\,(\text{ligne})/\sqrt{3}} = \frac{U_2\,(\text{ligne})}{U_1\,(\text{ligne})}$$

rapport des tensions de ligne mesurées.

2) en ⅄ △ :

$$m = \frac{U_2\,(\text{par phase})}{U_1\,(\text{par phase})} = \frac{U_2\,(\text{ligne})}{U_1\,(\text{ligne})/\sqrt{3}} = \frac{U_2\,(\text{ligne})}{U_1\,(\text{ligne})} \times \sqrt{3}$$

c-à-d. 1,73 fois le rapport des tensions mesurées.

Comparer les valeurs obtenues avec la valeur théorique, déduite par calcul, des indications de la plaque signalétique.

Feuille d'essai n° 27

Rapport de transformation

Transformateur n°

I. En Monophasé

U_1 BT		U_2 HT		Phase	m	Observations
lu	corrigé	lu	corrigé			
K=		K=				

II. En triphasé

U_1 BT		U_2 HT		couplage	m	Observations.
lu	corrigé	lu	corrigé			
K=		K=				

Date:

Rapport de l'essai n° 27

I. Préparation

a) But de l'essai

b) Machine étudiée

c) Schémas

d) Matériel utilisé

II Exécution

III Résultats et Conclusions

24ème Manipulation

Essai à vide.

I. Objet

1) Mesure du courant magnétisant et tracé de la courbe de magnétisation

2) Mesure de la puissance absorbée à vide et tracé de la courbe des pertes fer en fonction de la tension d'alimentation.

II. Schéma et Montage

Les enroulements B.T.sont couplés en étoile et raccordés à la table d'essais les enroulements H.T.restant à circuit ouvert.Un voltmètre,un ampèremètre et un wattmètre mesurent respectivement la tension,l'intensité et la puissance primaires Un fréquencemètre contrôle la fréquence à maintenir rigoureusement constante(50 Hz) LE wattmètre est connecté selon la méthode des 2 wattmètres,la mesure étant effectuée en 2 coups.

III. Mode opératoire

Alimenter les enroulements B.T.par des tensions variant de 0 à 1,1 fois la tension normale.Lire simultanément la tension primaire,l'intensité absorbée et la puissance mise en oeuvre.

IV. Calculs et Résultats

a) Tracer la courbe de magnétisation $U_{1(vide)} = f(I_1)$; f=constante.

b) Les puissances absorbées à vide compensent les pertes magnétiques ($P_H + P_F$ dans le fer)et les pertes par effet Joule dues au courant primaire à vide.

Calculer ces dernières,qui d'ailleurs,sont relativement faibles vis-à-vis des premières.Déduire les pertes fer.

Tracer la courbe des pertes fer en fonction de la tension U_1 .

Sur la même feuille millimètrée,tracer la courbe des pertes fer en fonction du carré de la tension(U_1^2);on constatera que cette 2ème courbe est sensiblement droite;la justification en a été donnée à l'occasion de la 20ème manipulation.

Feuille d'essai n° 28

Essai à vide

Transformateur n°

U_1		I_1		$P_{Partielles}$		P_{totale}	U_1^2	rI_1^2	P_{Fer}
lu	corrigé	lu	corrigé	lu	corrigé				
k=		k=		k=					

Notes diverses.

Date:

Rapport de l'essai n° 28

I. Préparation

a) But de l'essai

b) Machine étudiée

c) Schéma

d) Matériel utilisé

II Exécution

III Résultats et Conclusions

25ème Manipulation

Essai en court-circuit

I. Objet:

Mesurer: 1) la tension caractéristique U_{cc} de court-circuit.

2) la puissance absorbée en court-circuit à courants primaires et secondaires normaux.

II. Schéma et Montage

La tension caractéristique de court-circuit est très faible, surtout si le transformateur est de bonne qualité (de 20 à 30 fois plus faible, soit 3 à 5 % de celle-ci). Pour obtenir des tensions d'essais maniables, exécuter la mesure en alimentant par la H.T.; cette solution évite par ailleurs, dans le cas des transformateurs du laboratoire, l'introduction d'un T.i. ce qui élimine une cause supplémentaire de pertes.

Court-circuiter les enroulements B.T. ce qui consiste à raccorder entre elles d'une part les extrémités a_0, b_0, c_0 et d'autre part a_1, b_1, c_1.

Les enroulements H.T. couplés en étoile sont contrôlés par un voltmètre, un ampèremètre et un wattmètre (méthode des 2 wattmètres et mesure en 2 coups). Un fréquencemètre contrôle la tension qui doit rester invariable (50 Hz).

III. Mode opératoire

Régler la tension U_{2cc} appliquée de façon à obtenir successivement:

I_2 (H.T.) = 4/4, 3/4, puis 1/2 charge

Pour chaque point, lire simultanément: U_{2cc}, P_{cc} et I_2.

IV. Calculs et Résultats

En court-circuit, la tension d'alimentation étant très faible, le flux l'est également et les pertes fer sont négligeables. La puissance absorbée compense exclusivement les pertes par effet Joule dans les enroulements. Celles-ci comprennent les pertes JOULE proprement dites et les pertes supplémentaires par courants de Foucault dues au flux de dispersion.

Calculer les pertes Joule proprement dites par la méthode classique ($\Sigma r I^2$) et comparer celles-ci avec les pertes mesurées en cours d'essais; leur différence constitue les pertes supplémentaires.

Comparer les tensios de court-circuit mesurées avec des courants différents; on constate qu'elles sont dans le rapport des courants; le triangle de KAPP montre en effet que: $m U_{1cc} = U_{2cc} = [\sqrt{(r_2+m^2 r_1)^2 + \omega^2(\ell_2+m^2\ell_1)^2}]\, I_2$; la partie entre crochets étant constante, la tension de court-circuit est proportionnelle au courant débité.

Comparer enfin les puissances de court-circuit mesurées avec des courants différents;on constate qu'elles sont dans le rapport du carré des courants,ce qui est évident(effet Joule).

Feuille d'essai n° 29

Essai en court-circuit

Transformateur n°

U_2 HT		I_2 HT		P partielles		P totale	Observations
lu	corrigé	lu	corrigé	lu	corrigé		
k=		k=		k=			

Date:

Rapport de l'essai n° 29

I Préparation

a) But de l'essai

b) Machine étudiée

c) Schéma

d) Matériel utilisé

II. Exécution

III. Résultats et Conclusions

Chutes de tension et Caractéristiques externes

I. Tracé du triangle de Kapp

Le triangle de KAPP sera tracé par phase;le transformateur étant triphasé la puissance absorbée en court-circuit P_{cc} compense les pertes JOULE dans les 3 phases (couplage étoile):

$$P_{cc} = 3 r_1 I_1^2 + 3 r_2 I_2^2 = 3 (r_2 + m^2 r_1) I_2^2$$

Le côté AC du triangle (chute ohmique par phase) s'obtient en divisant P_{cc} par $3 I_2$

Avec $\frac{U_{2cc}}{\sqrt{3}}$ comme rayon et A comme centre,tracer un arc de cercle qui coupe la verticale élevée de C en B.La longeur BC fournit à l'échelle du dessin,la valeur de la chute inductive par phase : $\omega (l_2 + m^2 l_1) I_2$

Dessiner ensuite le triangle exprimé en % de la tension secondaire(par phase) à vide.

II. Caractéristiques externes

Calculer les chutes de tension absolues lorsque le transformateur débite son courant normal sous: $\cos\varphi_2 = 1$, $\cos\varphi_2 = 0{,}8$; $\cos\varphi_2 = 0{,}6$;

Tracer les caractéristiques externes correspondant à ces 3 valeurs distincts du facteur de puissance.

Notes diverses.

Courbes de rendement

I. Expression du rendement

$$\eta = \frac{P_{utile}}{P_{absorbée}} = \frac{P_{utile}}{P_{utile} + pertes} = \frac{U_2 I_2 \sqrt{3} \cos.\varphi_2}{U_2 I_2 \sqrt{3} \cos.\varphi_2 + pertes}$$

II. Evaluation des pertes

a) PERTES MAGNETIQUES: Hystérésis et courants de Foucault.

Supposées indépendantes de la charge, elles sont fournies par l'essai en magnétisation à tension primaire normale.

b) PERTES CUIVRE:

1) Pertes Joule proprement dites.

Elles se calculent à partir de la valeur connue des résistances à chaud pour un échauffement égal à 50°.

2) Pertes supplémentaires.

Supposées indépendantes de la température, ce qui n'est qu'approximatif, elles sont proportionnelles aux carrés des courants et peuvent être tirées de l'essai en court-circuit (voir 27ème manipulation).

III. Calcul du rendement

Calculer le rendement du transformateur alimenté à tension (190 volts entre phases) et fréquence normales et pour les puissances utiles correspondant à des courants secondaires égaux successivement à : 1/4, 2/4, 3/4, 4/4 et 5/4 charge et pour $\cos.\varphi_2 = 1$, $\cos.\varphi_2 = 0,8$ et $\cos\varphi_2 = 0,6$ au secondaire.

Les rendements sont toujours exprimés en fonction de la puissance utile; lorsque, par exemple, on dit que le rendement est de 95 % pour 100 Kws, il s'agit de 100 Kws utiles c-à-d. de 100 Kws débités par le secondaire.

Les différentes valeurs de U_2 à mettre en oeuvre dans ces calculs sont fournies par les caractéristiques externes.

IV. Rendement maximum

L'expression du rendement peut encore s'écrire:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + pertes\ fer + pertes\ Cu} = \frac{1}{1 + \frac{pertes\ fer}{P_2} + \frac{pertes\ Cu}{P_2}}$$

A tension d'alimentation constante les pertes fer sont constantes; les pertes cuivre sont proportionnelles au carré des courants donc au carré de P_2

On a donc: pertes fer = P_{Fer} ; pertes cuivre = $k.P_2^2$

D'où : $$\eta = \frac{1}{1 + \frac{P_{fer}}{P_2} + \frac{k P_2^2}{P_2}} = \frac{1}{1 + \frac{P_{fer}}{P_2} + k P_2}$$

Le rendement est maximum lorsque le dénominateur est minimum c-à-d.lorsque la somme $\frac{P_{fer}}{P_2} + k P_2$ est minimum;cette somme est composée de 2 termes dont le produit est constant;elle est minimum lorsque les 2 termes sont égaux c-à-d.enfin quand les pertes fer sont égales aux pertes cuivre:

$$\frac{P_{fer}}{P_2} = k P_2 \quad \text{donne en effet :} \quad P_{fer} = k P_2^2 = P_{cu}.$$

Notes diverses.

Notes diverses.

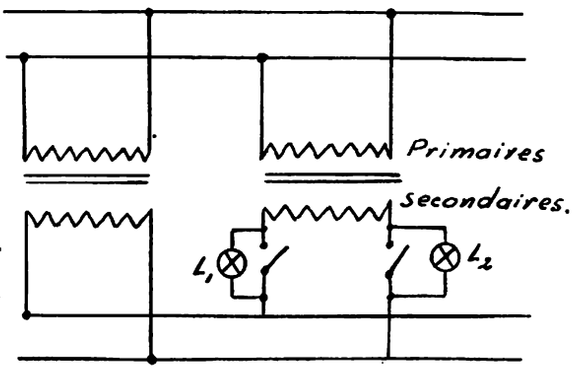
Mise en parallèle des transformateurs

I. Transformateurs monophasés

Conditions de couplage

a) Mêmes tensions secondaires à vide : donc même rapport de transformation ce que l'on vérifie à l'aide de voltmètres.

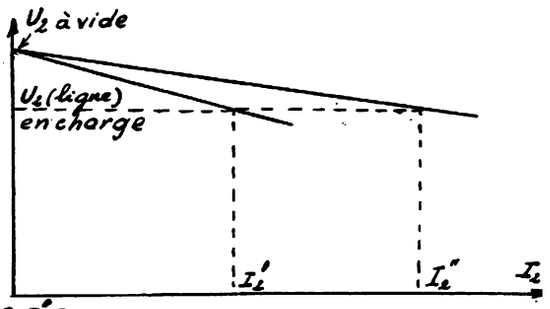
b) Tensions secondaires en phase:on ne peut raccorder que des bornes secondaires se trouvant au même potentiel instantané;en d'autres termes les secondaires doivent être couplés en opposition ce qui peut être vérifié au synchronoscope ou à l'extinction simultanée des lampes L_1 et L_2 branchées comme sur la figure.



c) Mêmes chutes de tension en charge

S'ils sont de même puissance les transformateurs doivent avoir des caractéristiques externes identiques sinon (voir figure) les charges seraient inégalement réparties;l'un débiterait I_2'' et serait surchargé , l'autre fournirait I_2' très différent de I_2'' et serait très peu chargé.

Mêmes caractéristiques externes signifie mêmes chutes de tension donc mêmes tensions de court-circuit;c'est l'essai en court-circuit qui permet de vérifier cette propriété.



II. Transformateurs triphasés

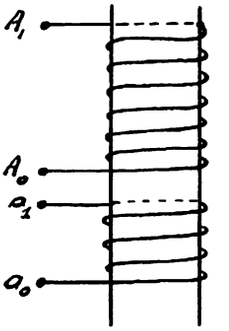
A. Conditions de couplage

Les conditions précédentes restent valables;il faut y ajouter les conditions de couplage interne des enroulements:

d) les transformateurs doivent appartenir à l'un des groupes pouvant fonctionner ensembles(groupes de fonctionnement).

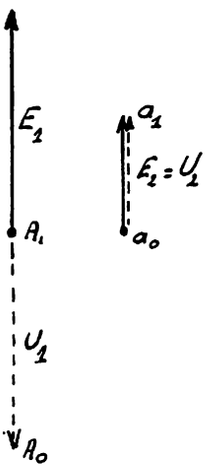
e) les phases correspondantes doivent être réunies ensembles.

B. Représentation vectorielle



Les lettres A_1 A_0 et a_1 a_0 ,extémités des enroulements H.T. et B.T. sont placées de sorte que,en cheminant de A_1 vers A_0 et de a_1 vers a_0 ,on rencontre le même sens d'enroulement. Idem pour B_1 B_0, b_1 b_0 et C_1 C_0, c_1 c_0 .
Les vecteurs E_1 et E_2 ,représentant les F.E.M. induites dans les 2 enroulements par le flux commun sont en phase

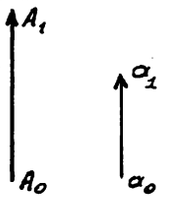
Convenons que le flux est positif s'il est dirigé de bas en haut ↑ dans le noyau (CONVENTION ARBITRAIRE);convenons que les F.E.M. sont positives lorsqu'elles tendent à fournir un flux positif.



Considérons l'instant où les F.E.M. sont positives;dans le primaire (H.T. par exemple),qui est un <u>récepteur</u>, E_1 est une F.C.E.M. qui,à la chute de tension près,est opposée à la <u>tension aux bornes U_1</u>;donc quand E_1 est positive , la tension aux bornes tend à créer un flux négatif ↓ ; <u>A_1 est donc positif par rapport à A_0</u>(récepteur).
Au même instant,dans le secondaire,qui est un <u>générateur</u>, E_2 est positive et,à la chute de tension près,est égale à U_2 ; U_2 est donc positive et tend à créer un flux positif ↑ ; <u>a_1 est donc positif par rapport à a_0</u> (générateur).

<u>CONCLUSION:Les bornes A_1 et a_1 sont à chaque instant de même polarité.</u>

Idem pour B_1 b_1 et C_1 c_1 respectivement.
Donc si la d.d.p. A_0 A_1 est représentée par le vecteur de la figure,on obtiendra pour a_1 a_0 un vecteur parallèle et de même sens.



Cette conclusion sera mise en oeuvre dans les tracés vectoriels suivants.

C. Groupes de fonctionnement

En pratique les phases primaires sont toujours couplées en ⅄ ou en Δ ; le secondaire est monté en ⅄ ,en Δ ou en zig-zag(⅄).Chaque cas donne lieu à 2 diagrammes vectoriels correspondant chacun à un sens de raccordement des bornes secondaires;ainsi le couplage ⅄ ⅄ peut être réalisé avec neutre en a_1 b_1 c_1 ou en a_0 b_0 c_0 .

Au total 12 modes(2 X 3 X 2) de couplage sont possibles ; on les a réparti en 4 groupes en plaçant dans un même groupe , les couplages qui fournissent les mêmes valeurs et le même déphasage des tensions secondaires à vide par rapport aux tensions primaires;4 d'entre eux sont les plus fréquents:

⅄⅄ , Δ⅄ , ⅄Δ , ⅄⅄

D. Applications

Diagrammes vectoriels des tensions primaires et secondaires en fonction des données suivantes:

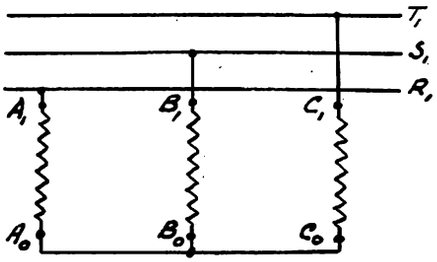
A) COUPLAGE ⅄⅄ :

Données:

Neutre en $A_o B_o C_o$; $a_o b_o c_o$.

Tensions de ligne primaires: 220 volts.

Rapport de transformation: 4 .



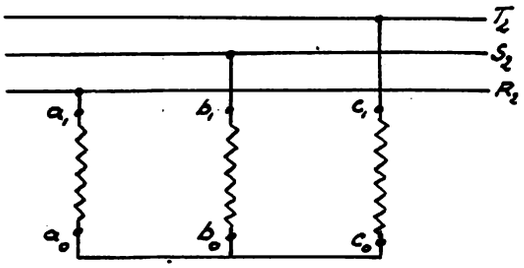
On a:

$U_{R_1S_1} = U_{S_1T_1} = U_{T_1R_1} = 220$ volts.

$U_{A_oA_1} = U_{B_oB_1} = U_{C_oC_1} = 220/\sqrt{3} = 127$ v.

$u_{a_oa_1} = u_{b_ob_1} = u_{c_oc_1} = 127/4 = 31{,}75$ v.

$u_{R_2S_2} = u_{S_2T_2} = u_{T_2R_2} = 31{,}75 \times \sqrt{3} = 55$ v.

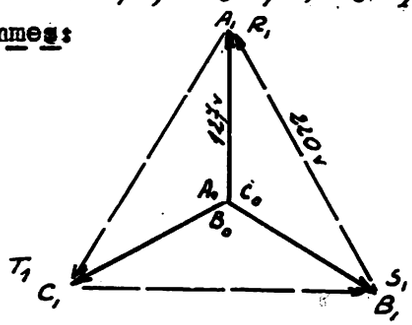


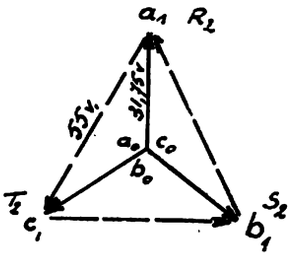
On trace d'abord: A_oA_1 ; B_oB_1 ; C_oC_1 .

puis: $U_{R_1S_1}$; $U_{S_1T_1}$; $U_{T_1R_1}$.

On dessine ensuite: $a_o a_1$, $b_o b_1$, $c_o c_1$ en phase avec, respectivement: $A_o A_1$, $B_o B_1$, $C_o C_1$,ce qui fournit les points R_2, S_2, T_2 .

Diagrammes:



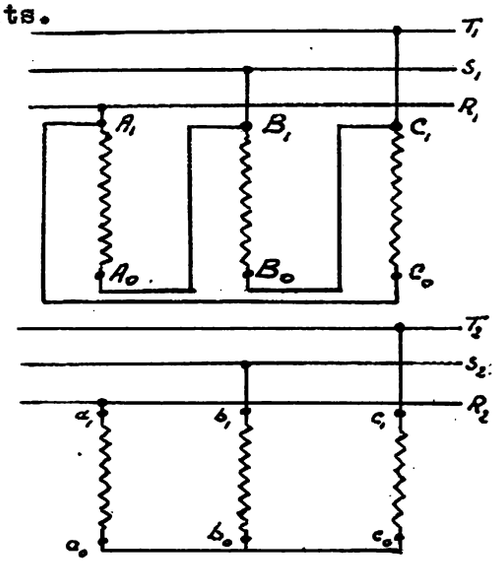


B) COUPLAGE Δ⅄ :

Données: Lignes en $A_1 B_1 C_1$;neutre en $a_o b_o c_o$.

Tensions de ligne primaires: 220 volts.

Rapport de transformation: 4 .



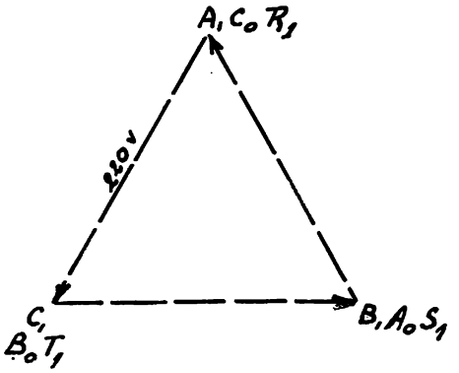
On a:

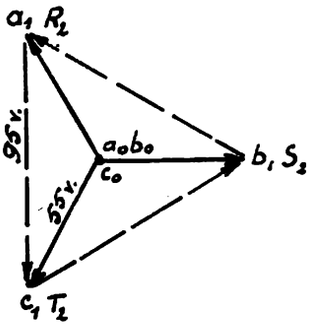
$U_{A_oA_1} = U_{B_oB_1} = U_{C_oC_1} = 220$ volts.

$u_{a_oa_1} = u_{b_ob_1} = u_{c_oc_1} = 220/4 = 55$ v.

$u_{R_2S_2} = u_{S_2T_2} = u_{T_2R_2} = 55\sqrt{3} = 95$ v.

Diagrammes:





Conclusion :

Comparant les diagrammes secondaires du couplage ⅄⅄ précédent et du couplage Δ⅄ actuel, on constate que les tensions secondaires sont inégales et déphasées; la mise en parallèle est donc impossible.

C) COUPLAGE ⅄Δ :

Données:

Neutre en $A_0 B_0 C_0$; lignes secondaires en $a_1 b_1 c_1$.

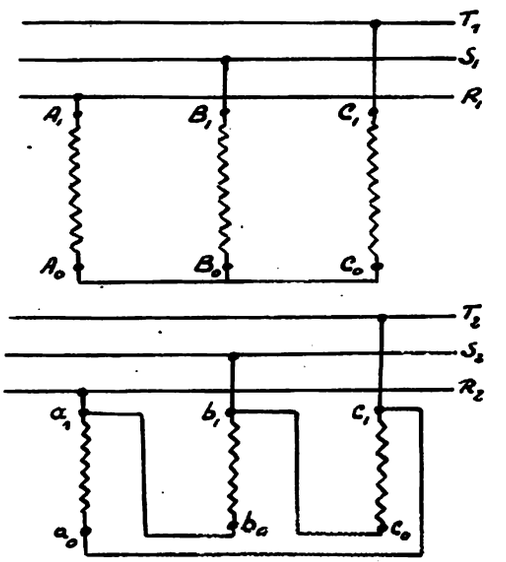
Raccordements: $a_1 b_0$, $b_1 c_0$, $c_1 a_0$.

Rapport de transformation: 4 .

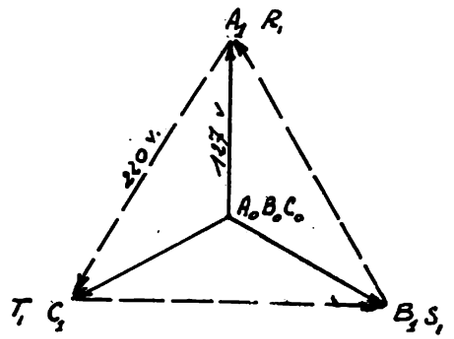
On a :

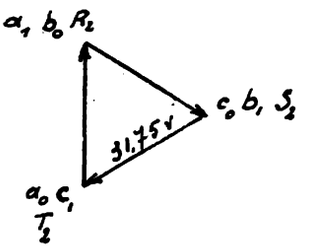
$U_{A_0 A_1} = U_{B_0 B_1} = U_{C_0 C_1} = 220/\sqrt{3} = 127 v.$

$u_{a_0 a_1} = \cdots\cdots = u_{R_2 S_2} = \cdots\cdots = 127/4 = 31,75 v.$



Diagrammes:





Conclusion:

La comparaison de ce diagramme secondaire avec le précédent($\Delta\curlywedge$) fait apparaître la concordance de phase des points: $R_2 S_2 T_2$ .Mais les valeurs des tensions de ligne secondaires ne sont pas égales.

Pour que les 2 diagrammes soient superposables,c-à-d.pour que le couplage soit possible,il suffirait que le rapport de transformation actuel soit égal à: $4 \times \frac{31,75}{95} = 1,37$

D) COUPLAGE $\curlywedge\curlywedge$:

Données:

Neutre primaire en: $A_0 B_0 C_0$

Lignes secondaires en: $a_1 b_1 c_1$

Rapport de transformation: 4

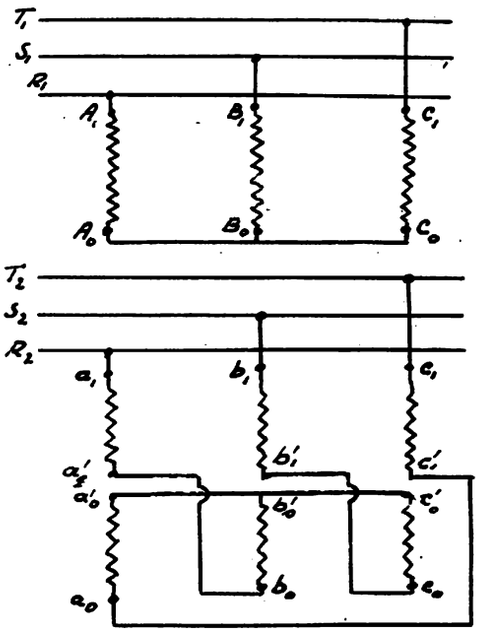
On a:

$U_{A_1 A_0} = \text{------} = 220/\sqrt{3} = 127 v.$

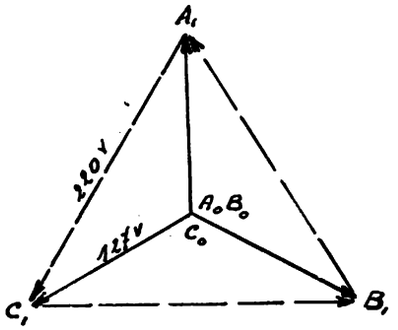
$\frac{1}{2} a_0 a_1 = \frac{1}{2} b_0 b_1 = \frac{1}{2} c_0 c_1 = 127/8 = 15,9 v.$

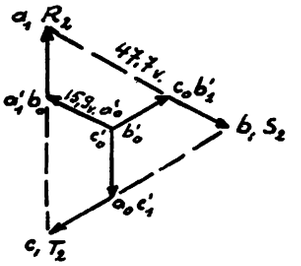
$u_{R_2 S_2} = u_{S_2 T_2} = u_{T_2 R_2} = (15,9 \times \sqrt{3}) \times \sqrt{3}$

$= 47,7 v.$



Diagrammes :





Conclusion:

Le diagramme secondaire montre que les points $R_2 S_2 T_2$ ont la la même phase que dans les 2 cas précédents ;les tensions de ligne secondaires sont donc en phase;mais elles sont inégales.

Pour rendre le couplage possible avec le transformateur du B),il faudrait que le rapport du transformateur actuel soit: $4 \times \frac{47,7}{95} = 2$.

Pour rendre le couplage possible avec celui du C), il faudrait que ce rapport soit: $4 \times \frac{47,7}{31,75} = 6$.

Notes diverses.

26ème Manipulation

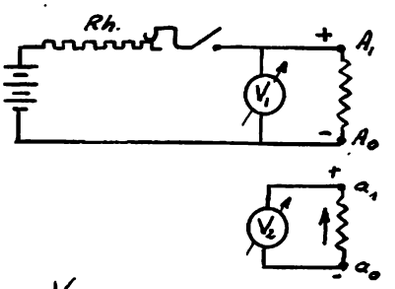
Vérification expérimentale des conditions de couplage

I Objet: Indiqué par le titre.

II Repérage des bornes

a) EN COURANT CONTINU:

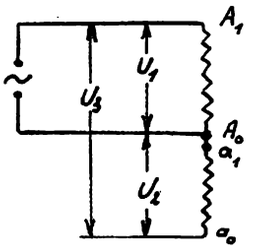
Alimenter la phase A_1A_0 au moyen d'une batterie d'accumulateurs;un rhéostat limite le courant ;une clé permet d'interrompre ce courant à volonté.
Un voltmètre au primaire relève les polarités des bornes A_1 et A_0 ;un 2ème voltmètre branché au secondaire relève celles de a_1 et a_0 .
Enclencher la clé; le courant s'établit de A_1 vers A_0 ; une F.E.M. naît dans le secondaire dont le sens, d'après la loi de Lenz, est telle qu'elle s'oppose à la variation de flux inducteur -(sens de la flèche); la borne a_1 est donc positive, ce qui sera vérifié par la déviation du voltmètre V_2 .



Conclusion: A_1 et a_1 sont de même polarité.

b) EN COURANT ALTERNATIF:

Alimenter le même enroulement en alternatif, raccorder les points A_0 et a_1 . Mesurer simultanément les 3 tensions U_1 , U_2 , U_3 .
Les tensions A_0A_1 et a_0a_1 étant en phase, on doit avoir, en valeur algébrique : $U_3 = U_1 + U_2$
Vérifier cette relation expérimentalement (U_1 = 220 volts).



Réponses: U_1 = 220 v. ; U_2 = ; U_3 =

Application: survolteur.

III. Mise en parallèle de 2 transfos. triphasés

a) Exécuter le câblage de 2 transformateurs triphasés ⅄⅄ , neutres en : $A_0B_0C_0$ et $a_0b_0c_0$ (voir schéma page 157); utiliser le tableau de barres équipé d'interrupteurs de couplage destiné à cet usage.

Alimenter sous 220 v. par la H.T.; vérifier la possibilité de couplage avec un seul voltmètre et exécuter la manoeuvre de mise en parallèle.

Mesurer les tensions entre barres secondaires et vérifier les valeurs précédemment calculées.

b) Idem mais couplage $\Delta \curlywedge$ *(schéma page 157)*

Lignes en $A_1 B_1 C_1$; neutre en $a_0 b_0 c_0$.

c) Idem mais couplage $\curlywedge \Delta$ *(schéma page 158)*

Neutre en $A_0 B_0 C_0$; lignes secondaires en $a_1 b_1 c_1$.

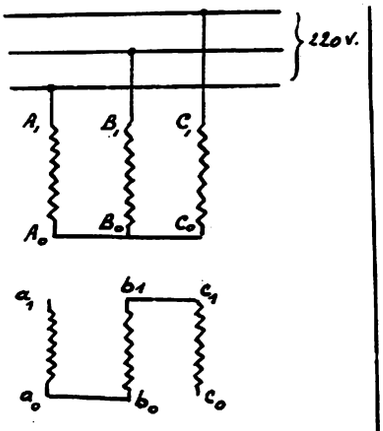
IV. Applications expérimentales

a) **CAS D'UN TRANSFORMATEUR A ENROULEMENTS SECONDAIRES CONNECTES EN SERIE.**

Alimenter sous 220 volts le transformateur par la H.T. couplée en $\curlywedge$; les enroulements B.T. sont raccordés en série comme sur la figure. *(rapport : 4)*

Déterminer par tracé vectoriel la tension entre a_1 et c_0 .

Vérifier expérimentalement.



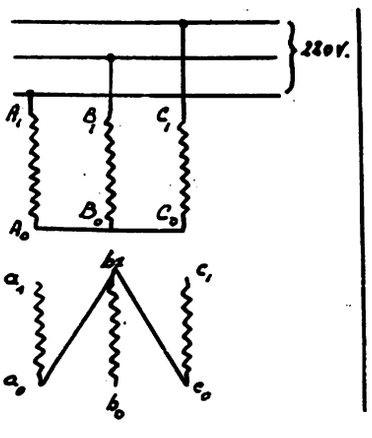
Calculs

Diagrammes

b) **CAS D'UN TRANSFORMATEUR AVEC UNE PHASE INVERSEE AU SECONDAIRE.**

Alimenter les enroulements H.T. couplés en Δ sous 220 volts; prédéterminer par tracé vectoriel les d.d.p. : $a_1 b_0$, $b_0 c_1$ et $a_1 c_1$.

Vérifier expérimentalement.



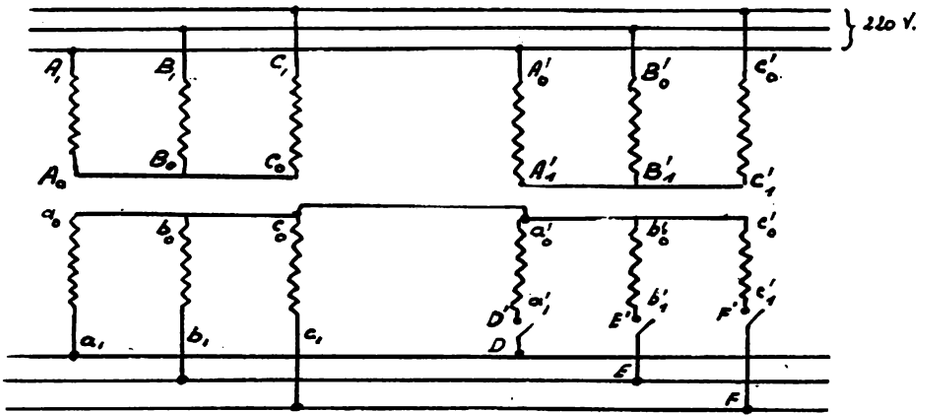
Calculs

Diagrammes

c) CAS DE DEUX TRANSFORMATEURS ⅄⅄ AVEC NEUTRE INVERSE POUR L'UN D'EUX.

Alimenter les enroulements H.T. sous 220 volts. Tracer les diagrammes vectoriels des tensions primaires et secondaires et prédéterminer les d.d.p. existant entre les points DD', EE' et FF'. Vérifier expérimentalement.

S C H E M A



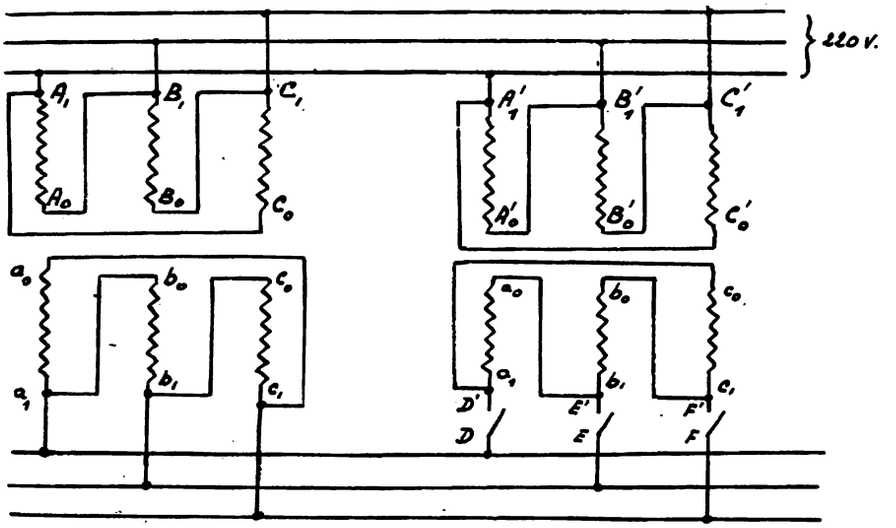
C A L C U L S

D I A G R A M M E S

d) CAS DE DEUX TRANSFORMATEURS △△ AVEC △ INVERSE AU SECONDAIRE POUR L'UN D'EUX.

Mêmes questions que précédemment.

S C H E M A



C A L C U L S

D I A G R A M M E S

Alternateurs et Moteurs synchrones.

Préliminaires théoriques :

Exposé de la méthode de Potier.

I. Objet :

1) Un alternateur, excité par un champ continu constant tournant à vitesse invariable, fournit aux bornes de son enroulement statorique, une tension U dont la valeur diminue lorsque le courant débité augmente (sur circuit résistif ou selfique).

2) La chute de tension en charge dépend aussi du facteur de puissance.
La méthode (indirecte) de POTIER permet de résoudre le problème suivant :
Un alternateur tournant à Nt/min. doit fournir à ses bornes une tension U lorsqu'il débite un courant I sous un facteur de puissance $\cos\varphi$. Quelle doit être l'intensité de son courant d'excitation ?

II Rappel du diagramme des tensions en charge

La chute de tension interne est due :

a) à l'impédance du circuit d'induit.

b) à la réaction magnétique de l'induit c-à-d. à l'action du flux d'induit Φ_r qui affecte le flux d'excitation Φ_e.

On peut considérer que Φ_r est constitué de :

1) <u>un flux de dispersion φ</u> qui ne coupe pas les pôles inducteurs et dont le trajet principal a lieu dans l'air; on peut donc lui associer un coefficient de self-fuite ℓ constant : $\ell = \frac{s.\varphi}{I}$, s. étant le nombre de spires de l'induit. Les variations de I , donc de φ créent dans l'induit une F.C.E.M. de self dont la valeur efficace est: $E_s = \omega \ell I$, représentée par un vecteur décalé de $\frac{\pi}{2}$ en arrière sur I .

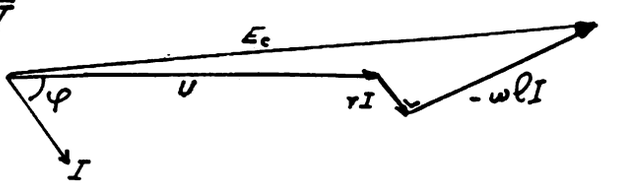
2) <u>un flux Φ_i</u> : qui coupe l'induit et l'inducteur à la fois et dont les lignes de force peuvent prendre différentes positions par rapport à celles du flux inducteur Φ_e selon la valeur du $\cos\varphi$ (voir cours de 1ère année).

On peut donc considérer que : $\phi_c = \phi_i + \phi_e$ est le flux commun à l'induit et à l'inducteur. Ses variations donnent naissance à la F.E.M. induite en charge E_c. Les F.E.M. induites équilibrent la tension aux bornes et la chute ohmique ce qui se traduit par la relation vectorielle:

$$\bar{E}_c + \bar{E}_s = \bar{U} + r\bar{I}$$

ou : $\bar{E}_c = \bar{U} + r\bar{I} - \omega l \bar{I}$

illustrée par le diagramme ci-contre;



III. Diagramme des A.T.

Le rotor parcouru par le courant d'excitation i fournit des A.T. ni à travers les spires du stator (n = nombre de spires du rotor); en réalité, ces A.T. (rotoriques) sont continus mais comme ils tournent dans l'espace, ils donnent naissance aux variations de flux ϕ_e dans les sipres de l'induit.

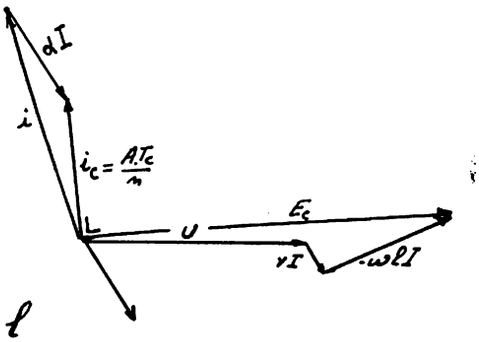
En raison de cette rotation, tout se passe comme si ces A.T. d'excitation étaient des A.T. alternatifs de direction fixe et de même période que I ; on peut donc les représenter par un vecteur tournant qu'il suffit de combiner aux A.T. d'induit (A.T. statoriques produisant ϕ_i) pour obtenir les A.T. résultants ou communs (A.T.$_c$). On a : $\overline{A.T_c} = \overline{A.T_{stator}} + \overline{A.T_{rotor}}$

Ce sont ces A.T.$_c$ qui créent ϕ_c donc E_c .

Il est donc permis de traduire l'effet de la réaction en disant qu'elle agit comme si elle produisait un courant dans le rotor qui se combine avec i ; ce courant proportionnel à la charge I et en phase avec elle, peut se mettre sous la forme: αI , α étant un coefficient constant à déterminer expérimentalement. On peut ainsi écrire : $\overline{A.T_c} = n(\alpha\bar{I} + \bar{i})$ d'où : $\bar{i} = \frac{\overline{A.T_c}}{n} - \alpha\bar{I} = \bar{i}_c - \alpha\bar{I}$

Or, les $A.T_c$ qui produisent E_c sont en phase avec ϕ_c donc décalés de $\frac{\pi}{2}$ en avant sur E_c .

Le diagramme des courants d'excitation s'établit donc comme sur la figure ci-contre. La valeur de $i_c = \frac{A.T_c}{n}$ sera fournie par l'abscisse du point de la courbe de magnétisation dont l'ordonnée mesure E_c



IV Détermination des coefficients α et l

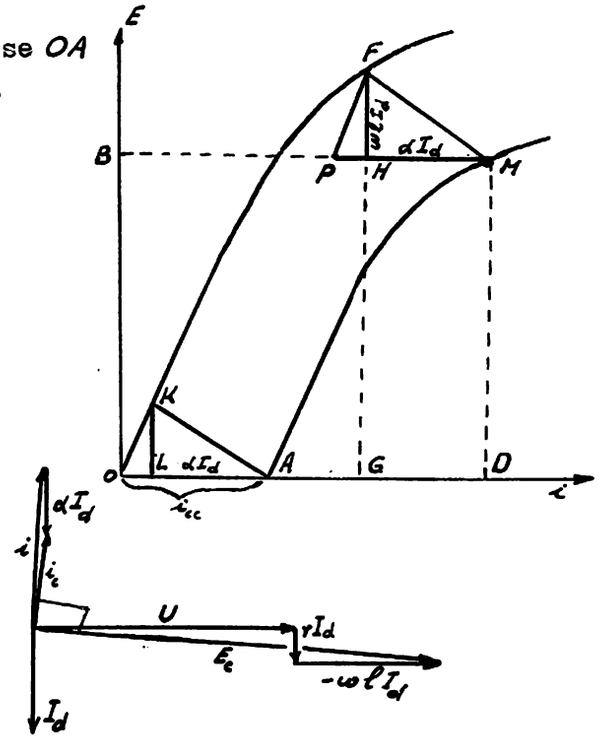
Les diagrammes précédents renferment deux inconnues α et l qu'il est possible de déterminer par des essais simples :

a) <u>ESSAI EN DEWATTE:</u>

Si l'on fait débiter l'alternateur sur des bobines de self règlables et de résistances négligeables et que, grâce au courant d'excitation, on maintient le courant I_d constant, la tension U varie; la courbe $U = f(i)$ pour I_d constant

s'appelle"caractéristique en déwatté". Son abscisse OA à l'origine, mesure le courant d'excitation pour lequel la tension aux bornes est nulle c-à-d. quand l'alternateur est en court-circuit.

En déwatté, I_d est décalé de $\frac{\pi}{2}$ en arrière sur U et le diagramme s'établit comme ci-dessous.



Comme r est petit, on a : $E_c \simeq U + \omega l I_d$

et : $i \simeq i_c + \alpha I_d$, *en valeurs algébriques*

En particulier, pour le point M de la caractéristique, le courant d'excitation i est mesuré par OD ; il est constitué du terme i_c (par exemple $OG = BH$) et du terme αI_d (par exemple $GD = HM$).

L'ordonnée de OG , mesurée par GF sur la courbe de magnétisation représente la F.E.M. E_c induite lorsque la machine fonctionne en déwatté. On a donc: $HM = \alpha I_d$ et $HF = E_c - U = \omega l I_d$

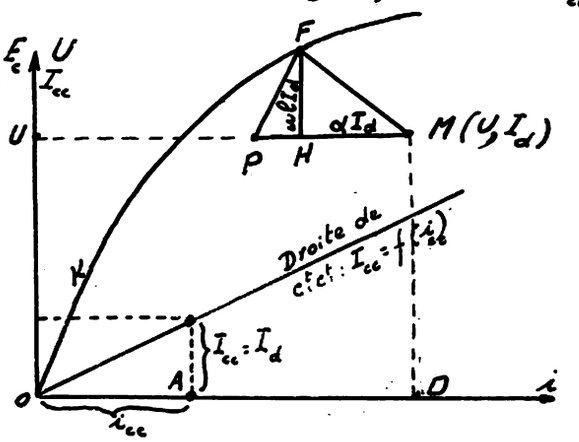
On obtient ainsi deux côtés d'un triangle rectangle, proportionnels à I_d :

$$FM = \sqrt{(HF)^2 + (HM)^2} = I_d \sqrt{\alpha^2 + (\omega l)^2}$$

I_d , ayant été maintenu constant au cours de l'essai, FM est constant quel que soit le point M choisi sur la caractéristique en déwatté.

b) ESSAI EN COURT-CIRCUIT:

En particulier, pour le point A ($U = o$) l'alternateur est en court-circuit et le triangle s'établit en KLA, avec $LA = \alpha I_d$ et $KL = \omega l I_d$. Par F traçons la parallèle à OK qui coupe BM en P ; les triangles PFM et OKA sont égaux; $PM = OA = i_{cc}$ = courant d'excitation en court-circuit pour $I_{cc} = I_d$.



La courbe en déwatté à courant débité constant est donc superposable à la courbe de magnétisation par une translation dont les composantes sont: αI_d et $\omega l I_d$

c) CONSTRUCTION PRATIQUE:

En conclusion, pour déterminer α et l on procède comme suit :

1) on trace la courbe de magnétisation (essai à vide)
2) on réalise un essai en déwatté qui consiste à relever, pour un seul point M le courant I_d la tension U et le courant d'excitation $i = OD$. Cela permet de pointer M .

3) grâce à l'essai en court-circuit, on cherche le courant d'excitation $i_{cc} = OA$ correspondant au courant de court-circuit = à I_d ; ce courant est repéré sur la droite de court-circuit.

4) à partir de M on trace le segment MP égal à OA ; par P on trace la parallèle à OK qui coupe la courbe de magnétisation en F ; par F on abaisse la verticale qui fournit le point H tel que HM et HF mesurent à l'échelle respectivement αI_d et $\omega l I_d$; on a : $\alpha I_d = \frac{HM}{\text{échelle des } i}$ et $\omega l I_d = \frac{HF}{\text{échelle des } E}$

Connaissant I_d, on déduit les coefficients α et ωl grâce auxquels on peut tracer le diagramme de Potier pour n'importe quelle valeur de I et n'importe quel facteur de puissance $\cos\varphi$.

27ème Manipulation

Mesure des résistances ohmiques

I. Objet

Mesurer les résistances ohmiques des enroulements du stator et du rotor, en vue du tracé du diagramme de Potier et du calcul du rendement.

Méthode: Volt-ampèremétrique.

II. Schéma. Montage et Mode opératoire

a) STATOR:

Chaque phase sera successivement alimentée par une batterie d'accumulateurs, en série avec une résistance (rhéostat de démarrage) pour limiter le courant. Exécuter, pour chaque phase, 2 ou 3 mesures en changeant de l'une à l'autre, la position du rhéostat.

Mesurer ensuite la résistance combinée entre bornes de l'enroulement couplé en Δ.

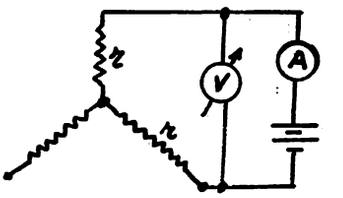
b) ROTOR:

Procéder de même pour l'enroulement inducteur.

III. Pertes Joule

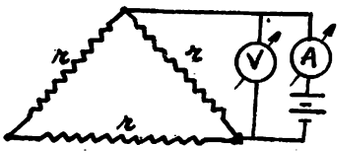
Si la résistance mesurée entre bornes est R, quel que soit le couplage, les pertes Joule valent $1{,}5RI^2$, I étant le courant de ligne.

1) Couplage étoile:



La mesure étant exécutée selon la figure ci-contre, la résistance trouvée vaut: $R = 2r$ avec r, résistance d'une phase. Lorsque le stator est alimenté par un courant I, les pertes Joule valent: $3rI^2 = 1{,}5RI^2$

2) Couplage triangle:



Exécutée selon le schéma ci-contre, la résistance mesurée vaut: $R = \frac{r \times 2r}{r + 2r}$ car R est constituée d'une résistance r en parallèle sur une résistance $2r$.

Soit: $R = \frac{2r^2}{3r} = \frac{2}{3}r$ d'où: $r = \frac{3}{2}R = 1{,}5R$

Si I est le courant de ligne, les pertes Joule valent:

$$3r\left(\frac{I}{\sqrt{3}}\right)^2 = rI^2 = 1{,}5RI^2$$

IV. Calculs et Résultats

Le quotient des lectures conjuguées, judicieusement corrigées, fournit la valeur des résistances envisagées.

Considérer la valeur moyenne des résultats.

Calculer les résistances à chaud.

V. Examen de la plaque signalétique

Noter ci-dessous les indications de cette plaque.

Feuille d'essai n° 30

Résistances ohmiques

Alternateur n°

Phase	U		I		$R = \frac{U}{I}$	Observations
	lu	corrigé	lu	corrigé		
	$k_=$		$k_=$			

Date:

Rapport de l'essai n° 30

I. Préparation

a) But de l'essai

b) Machine étudiée

c) Schéma

d) Matériel utilisé:

II Exécution

III Résultats et Conclusions

28ème Manipulation

Essai à vide

I. Objet

Relever expérimentalement la courbe de magnétisation $E = f(i)$ pour N constant.

II. Schéma et Montage

L'alternateur est entraîné par un moteur à courant continu. Les enroulements d'induit sont raccordés aux bornes d'entrée de la table d'essais. La vitesse, qui doit être maintenue constante, est contrôlée par un fréquencemètre.

Un voltmètre mesure la tension de sortie U de la machine. Un ampèremètre mesure le courant i continu d'excitation.

III. Mode opératoire

Démarrer le groupe et amener celui-ci à la vitesse de 1.000 t/min. ce qui correspond à la fréquence de 50Hz. Maintenir cette fréquence constante en agissant sur le rhéostat d'excitation du moteur d'entraînement. Une première série de mesures est effectuée par valeurs croissantes de l'excitation jusqu'à obtenir une tension de sortie de l'ordre de 300 volts, une seconde par valeurs décroissantes.

REMARQUE: Si le règlage de la vitesse offre quelques difficultés, il suffit de corriger la tension lue en la multipliant par le rapport $\frac{1000}{N'}$ puisque la F.E.M. produite est proportionnelle à la vitesse.

IV. Résultats

La caractéristique obtenue présente généralement deux branches; la branche supérieure correspond aux valeurs décroissantes de l'excitation. Ce dédoublement de la courbe est dû à l'influence de l'hystérésis du circuit inducteur. La forme rappelle celle d'un génératrice à courant continu; la saturation magnétique est peu prononcée parce que l'entrefer est assez grand.

Considérer la moyenne des deux courbes.

Feuille d'essai n° 31

Essai à vide

Alternateur n°

U		i		f	Observations
lu	corrigé	lu	corrigé		
$k_=$		$k_=$			

Notes diverses.

Date:

Rapport de l'essai n° 31

I Préparation

a) But de l'essai

b) Machine étudiée

c) Schéma

d) Matériel utilisé

II Exécution

III Résultats et Conclusions

29ème Manipulation

Essai en court-circuit

I. Objet:

Relever la caractéristique en court-circuit de l'alternateur $I_{cc} = f(i)$ en vue de la détermination ultérieure des coefficients α et ωl.

II. Schéma et Montage

Connecter l'alternateur, couplé en Δ, aux bornes d'entrée de la table d'essais; court-circuiter les trois bornes de sortie de celle-ci.
Un ampèremètre, associé à un transformateur d'intensité mesure le courant I_{cc} fourni par la machine; un ampèremètre C.C. mesure le courant d'excitation. Un fréquencemètre contrôle la fréquence, donc la vitesse de la machine, qu'il n'est d'ailleurs pas nécessaire de maintenir rigoureusement constante.

III. Mode opératoire

Démarrer le groupe et l'amener à 1.000t/min. environ. Exciter l'alternateur de façon à ce qu'il débite successivement 4/4, 3/4, 2/4 et 1/4 charge.
Lire la valeur de I_{cc} successivement dans les 3 phases (I_{cc} = courant de ligne).
<u>REMARQUE</u>: Le courant de court-circuit I_{cc} est indépendant de la vitesse.
Si E est la F.E.M. induite à vide, par le courant d'excitation, on a en effet :

$I_{cc} = \frac{E}{Z}$; Z, étant l'impédance synchrone de la machine; $Z = \sqrt{r^2 + \omega^2 L^2}$

r, résistance de l'induit, étant négligeable vis-à-vis de la réactance synchrone ωL, il vient : $Z \simeq \omega L = 2\pi f L = 2\pi p \frac{N}{60} L = K_1 N L$

avec p = nombre de paires de pôles et K_1 = constante.
D'autre part: $E = K N \phi = K' N i$, K' = constante.
D'où, $I_{cc} = \frac{E}{Z} = \frac{K' N i}{K_1 N L} = K_3 i / L$
I_{cc} est donc indépendant de la vitesse N.
Vérifier expérimentalement que pour une même excitation, I_{cc} est indépendant de la vitesse.

IV. Résultats

Tracer la caractéristique de court-circuit : <u>c'est approximativement une droite</u>.
Pourquoi ? En court-circuit, la tension étant nulle, l'équation du fonctionnement

s'écrit : $\overline{E_c} = \overline{rI_{cc}} - \overline{\omega l I_{cc}}$.

Elle est faible donc le flux ϕ_c qui lui donne naissance est faible aussi, de même que les A.T. résultants $A.T_c$; si on les néglige, on peut écrire :

$$\overline{A.T_c} = \overline{A.T_{stator}} + \overline{A.T_{rotor}} = 0 \quad \text{ou} \quad \alpha I_{cc} + ni = 0$$

ce qui constitue une relation linéaire entre I_{cc} et i .

En court-circuit, le courant I_{cc} débité est pratiquement décalé de 90° en arrière sur le F.E.M. induite; c'est un courant déwatté.

Un courant d'excitation d'environ 1/3 du courant d'excitation normal donne le courant nominal d'induit. La F.E.M. induite est donc assez faible (environ 25 à 30% de la F.E.M. normale); les pertes fer sont donc faibles également.

La puissance d'entraînement de l'alternateur fonctionnant en court-circuit à courant normal, sert donc à compenser pratiquement les pertes mécaniques et les pertes Joule statoriques.

Feuille d'essai n° 32

Essai en court-circuit

Alternateur n°

I_{cc}		i		Observations
lu	corrigé	lu	corrigé	
$k_=$		$k_=$		

Date :

Rapport de l'essai n° 32

I Préparation

a) But de l'essai

b) Machine étudiée

c) Schéma

d) Matériel utilisé

II Exécution

III Résultats et Conclusions

30ème Manipulation

Essai en déwatté

I. Objet:

Relevé du point en déwatté M pour la détermination des coefficients α et ωl.

II. Schéma et Montage

Ne disposant pas de bobines de self appropriées, l'alternateur couplé en Δ sera relié électriquement, par l'intermédiaire de la table d'essais, à l'enroulement statorique d'un moteur synchrone. On sait qu'un moteur synchrone sous-excité absorbe un courant d'autant plus intense et déwatté que son excitation est réduite. Un voltmètre mesure la tension de sortie de l'alternateur; un ampèremètre avec T.i. mesure son courant débité I_d (courant de ligne); un ampèremètre C.C. mesure le courant d'excitation; un fréquencemètre contrôle la fréquence, donc la vitesse qui doit rester constante.

Relier l'enroulement d'excitation du moteur synchrone à une source à courant continu (réseau 110 volts) par l'intermédiaire d'un rhéostat d'excitation et d'un interrupteur K .

III. Mode opératoire

a) PREPARATION:

Le moteur synchrone, incapable de démarrer à fréquence normale, le sera à fréquence progressive. Pour ce faire :

1) exciter le moteur synchrone et s'assurer que cette excitation est réelle (arc à l'ouverture de l'interrupteur K).

2) exciter l'alternateur suffisamment fort.

3) démarrer lentement l'alternateur qui débite alors sur le moteur synchrone à fréquence faible. Grâce à cela, le moteur est susceptible de s'accrocher et d'accélérer en synchronisme avec l'alternateur.

4) au fur et à mesure que la vitesse augmente la tension de l'alternateur s'élève; il faut la limiter à 220 volts en règlant l'excitation.

b) EXPERIMENTATION:

La fréquence est ainsi amenée progressivement à 50 Hz et maintenue constante; tout en gardant la tension d'alimentation U invariable (220 volts), diminuer l'excitation du moteur synchrone puis la couper en ouvrant l'interrupteur K .

A ce moment, lire simultanément : $U(220v)$, I_d (dans les 3 phases) et i .

c) JUSTIFICATION DU PROCEDE:

Malgré qu'il n'est plus excité, le moteur synchrone continue à tourner à cause de son magnétisme rémanent et parce que, fonctionnant à vide, le couple résistant qu'il doit vaincre est très réduit (frottement et ventilation).

Dès qu'il n'est plus excité, le moteur absorbe un courant déwatté (voir courbe en V du moteur synchrone).

IV. Résultats

Les valeurs mesurées de U , I_d et i définissent le point M (point de Potier). On possède ainsi toutes les données pour la détermination des coefficients α et ωl .

Feuille d'essai n° 33

Essai en dévatté

Alternateur n°

U		Id		i		f	Observations
lu	corrigé	lu	corrigé	lu	corrigé		
k=		k=		k=			

Notes diverses

Date:

Rapport de l'essai n° 33

I Préparation

a) But de l'essai

b) Machine étudiée

c) Schéma

d) Matériel utilisé

II Exécution

III Résultats et Conclusions

Détermination des coefficients α et ℓ

I. Données :

Tracer sur la même feuille de papier millimètré, avec des axes de coordonnées confondus :

1) la courbe de magnétisation : $E = f(i)$ à 1.000 t/min.
2) la droite de court-circuit : $I_{cc} = f(i)$
3) le point de Potier. M

II. Construction graphique

Se reférant à l'exposé de la page 167 , noter les différentes opérations pratiques à effectuer pour déterminer les coefficients α et $\omega\ell$ caractérisant l'alternateur d'essai. A remarquer que, les enroulements étant couplés en Δ , la courbe de magnétisation porte en ordonnées les tensions à vide <u>par phase</u>, alors que la droite de court-circuit porte les <u>courants de ligne</u>. Il faut en tenir compte dans les calculs.

Notes diverses.

31ème Manipulation

Essai en charge

I Objet :

Faire débiter l'alternateur dans des conditions de charge bien déterminées, en vue de vérifier, par le diagramme de Potier, le courant d'excitation mesuré expérimentalement.

II. Schéma et Montage.

a) CHARGE SOUS : $\cos.\varphi = 1$.

Par l'intermédiaire de la table d'essais, raccorder l'alternateur (Δ) à un pont de résistances triphasées.

Un fréquencemètre contrôle la fréquence (50 Hz); un voltmètre mesure la tension de sortie, à régler à 220 volts; un ampèremètre avec T.i. mesure le courant de charge I ; un ampèremètre C.C. mesure le courant d'excitation. i.

Un wattmètre, monté selon le schéma de la méthode des deux wattmètres, mesure la puissance débitée par la machine.

b) CHARGE SOUS : $\cos.\varphi = 0{,}8$.

En parallèle avec les résistances de charge, raccorder les enroulements triphasés du stator d'un moteur asynchrone, qui absorbera une intensité déwattée.

III. Mode opératoire

a) CHARGE SOUS : $\cos\varphi = 1$.

Démarrer l'alternateur et maintenir sa vitesse invariable (1.000 t/min.).

Régler son excitation et la valeur des résistances de décharge de façon à lui faire débiter approximativement son courant normal (environ 30 A.), sous sa tension normale (220 volts).

Lire simultanément : U , I , i et P (en deux coups).

L'égalité des deux lectures faites au wattmètre confirme que : $\cos\varphi = 1$

b) CHARGE SOUS : $\cos.\varphi = 0{,}8$.

Lorsque $\cos.\varphi = 0{,}8$, les deux déviations du wattmètre doivent être dans le rapport $0{,}4$ (voir courbe $\cos.\varphi = f(\frac{P_1}{P_2})$).

Régler l'excitation et les résistances de décharge de manière à réaliser cette condition, la machine débitant un courant à peu près nominal sous U = 220 volts.

Lire simultanément : U , I , i et P (en deux coups).

IV. Résultats

A intensité I sensiblement la même et à tension égale, le courant d'excitation est d'autant plus intense que le facteur de puissance est faible. Ce résultat confirme la propriété connue selon laquelle la composante longitudinale antagoniste du flux d'induit est d'autant plus importante que le courant déwatté est intense c-à-d. que le $\cos.\varphi$ est faible.

Feuille d'essai n° 34

Essai en charge

Alternateur n°

cos.φ	U		I		i		P partielles		P totale	Obs.
	lu	corr.	lu	corr.	lu	corr.	lu	corr.		
	k=		k=		k=		k=			

Notes diverses

Date:

Rapport de l'essai n° 34

I Préparation

a) But de l'essai

b) Machine étudiée

c) Schéma

d) Matériel utilisé

II Exécution

III Résultats et Conclusions

Diagrammes de fonctionnement (Potier)

I. Objet

Vérifier par la méthode de Potier, les valeurs des courants d'excitation mesurés expérimentalement au cours des deux précédents essais en charge.

II. Tracé du diagramme pour cos.φ=1

Données : $U = 220$ volts

$I = \rightarrow$ (valeur de l'essai en charge)

$\cos.\varphi = 1$

Inconnue: $i = ?$

Construire le diagramme de Potier par phase, en tenant compte du fait que le courant de charge I imposé est un courant de ligne.

Les calculs seront effectués ci-dessous; le diagramme vectoriel sera tracé sur la feuille de papier millimètré.

Comparer les résultats.

Notes diverses.

III. Tracé du diagramme pour cos φ = 0,8

Procédé identique. Noter les calculs et résultats ci-dessous.

32ème Manipulation

Essai à vide du moteur synchrone

I. Objet :

Déterminer la courbe en V du moteur synchrone fonctionnant à vide et alimenté à tension constante : $I = f(i)$, P = constante, U = constante.

Déterminer dans les mêmes conditions la courbe du facteur de puissance en fonction de l'excitation.

II. Schéma et Montage

Le moteur synchrone (couplé en λ) est alimenté par l'alternateur via la table d'essais. Un voltmètre et un fréquencemètre contrôlent respectivement sa tension et sa fréquence d'alimentation; un ampèremètre associé à un T.i. mesure son courant statorique; un ampèremètre C.C. mesure le courant continu d'excitation qui lui est fourni par le réseau C.C. 110 volts. Un wattmètre mesure sa puissance absorbée par la méthode des deux wattmètres (mesure en deux coups : P_1 et P_2).

III. Mode opératoire

a) PREPARATION:

Démarrage du moteur synchrone à fréquence progressivement croissante (voir essai en déwatté).

b) EXPERIMENTATION:

La fréquence et la tension d'alimentation étant maintenues constantes (50 Hz et 220 volts), varier le courant d'excitation i (de 2,5 A. à 0,5 A. environ) et mesurer simultanément ce courant i , l'intensité statorique I et les puissances partielles P_1 et P_2 .

IV. Résultats

Tracer la courbe en V.

Sur la même feuille de papier millimètré, avec des axes de coordonnées confondus, tracer la courbe des facteurs de puissance en fonction de l'excitation i ; ces facteurs de puissance sont fournis par la courbe ; $\cos.\varphi = f\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$

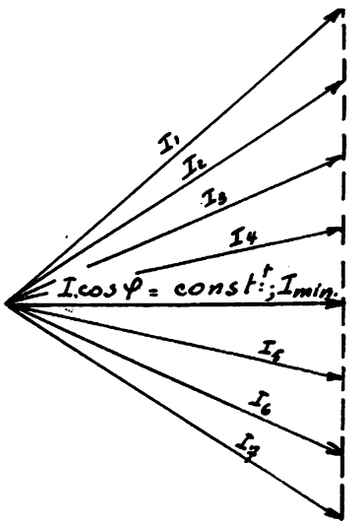
JUSTIFICATION:

On justifie la forme de la courbe $\cos.\varphi = f(i)$ comme suit :

la puissance mécanique fournie par le moteur compense uniquement la puissance perdue sous forme de frottement et de ventilation puisque le moteur tourne à vide; la vitesse étant constante (synchronisme), cette puissance l'est également.

Au rendement près, (car l'effet Joule statorique varie), la puissance électrique absorbée $UI\sqrt{3}\cos.\varphi$ est aussi sensiblement constante; puisque l'essai est réalisé à tension U invariable, on déduit que : $I\cos.\varphi$ est constant; la composante wattée du courant absorbé est donc constante.

Puisque I varie (courbe en V), $\cos.\varphi$ varie aussi, mais dans le sens inverse.



A faible excitation, I est intense, $\cos.\varphi$ est donc faible et le moteur consomme un grand courant déwatté.
Quand l'excitation i croît, I diminue, $\cos.\varphi$ s'améloire et le courant déwatté décroît.
Le minimum d'intensité absorbée a lieu pour : $I\cos.\varphi = I$ c-à-d. pour $\cos.\varphi = 1$
Si on augmente encore l'excitation, I augmente de nouveau; I déwatté croît aussi mais en sens inverse; c'est que ce courant est maintenant déphasé de 90° en avant; le moteur est alors capacitif.
Physiquement, à faible excitation, le moteur synchrone prend de l'énergie déwattée au réseau pour renforcer son excitation insuffisante. A forte excitation, la machine fournit de l'énergie déwattée au réseau.

Feuille d'essai n° 35

Essai à vide

Moteur synchrone n°

U		f	I		i		P partielles		$\frac{P_1}{P_2}$	cos φ	obs.
lu	corr.		lu	corr.	lu	corr.	lu	corr.			
k=			k=		k=		k=				

Date:

Rapport de l'essai n° 35

I Préparation

a) But de l'essai

b) Machine étudiée

c) Schéma

d) Matériel utilisé

II Exécution

III Résultats et Conclusions

Rendement de l'alternateur.

I. Objet:

Calculer le rendement de l'alternateur fonctionnant dans des conditions de charge et de facteur de puissance imposées. Choisir celles qui ont été relevées lors des deux essais en charge.

II. Expression du rendement

$$\eta = \frac{UI\sqrt{3}\cos\varphi}{UI\sqrt{3}\cos\varphi + \text{pertes}}$$

III. Evaluation des pertes

a) PERTES MECANIQUES et MAGNETIQUES (fer).

Elles sont indépendantes du courant débité I ; elles restent constantes pourvu que la tension U et la fréquence f soient elles-mêmes invariables.

Les pertes fer peuvent être déduites des résultats de l'essai à vide en moteur synchrone; en effet, dans ces conditions, la puissance absorbée par le moteur compense: les pertes Joule statoriques, les pertes fer et mécaniques. Les premières pouvant être calculées, on déduit les autres.

Effectuer le calcul pour le point inférieur de la courbe en V (I minimum); noter que les enroulements du moteur synchrone étaient couplés en $\curlywedge$.

b) PERTES JOULE STATORIQUES.

Calculer les pertes Joule à chaud pour un échauffement de 50° et dans les conditions de charge imposées. Noter que les enroulements de l'alternateur sont couplés en Δ. Formule: $1{,}5RI^2$ avec I : courant de ligne et R : résistance mesurée entre bornes.

c) PERTES JOULE ROTORIQUES.

Elles valent : ri^2, r étant la résistance calculée à chaud du rotor et i le courant d'excitation extrait soit des résultats de l'essai en charge, soit du diagramme de Potier.

REMARQUE: Pratiquement, on détermine le rendement d'un alternateur comme suit : l'alternateur est accouplé mécaniquement à un moteur C.C. d'entraînement taré, c-à-d. dont on connaît la courbe des rendements.

1) Pertes mécaniques:

On entraîne à sa vitesse normale l'alternateur à vide non excité; la puissance P_1 absorbée par le moteur d'entraînement multipliée par le rendement η_1 de celui-ci à cette charge, mesure les pertes mécaniques de l'alternateur.

On a : $P_{mécaniques} = P_1 \times \eta_1$

2) <u>Pertes magnétiques</u>:

On entraîne à sa vitesse normale l'alternateur à vide mais excité de façon à fournir sa tension statorique normale; cet essai permet de déterminer les pertes magnétiques. En effet : la puissance P_2 absorbée ainsi par le moteur multipliée par le rendement η_2 à cette charge mesure les pertes magnétiques et mécaniques; ces dernières étant connues, on déduit :

$$P_{magnétiques} = P_2 \times \eta_2 - P_1 \times \eta_1$$

3) <u>Pertes Joule et supplémentaires</u>:

On entraîne à sa vitesse normale l'alternateur en court-circuit excité de telle sorte qu'il débite son courant normal; cet essai permet la détermination des pertes Joule et supplémentaires. En effet : en court-circuit, les pertes magnétiques sont négligeables; la puissance P_3 absorbée par le moteur multipliée par son rendement η_3 à cette charge mesure les pertes Joule, les pertes supplémentaires et les pertes mécaniques. Ces dernières étant connues, on déduit :

$$P_{Joule + suppl.} = P_3 \times \eta_3 - P_1 \times \eta_1$$

Notes diverses.

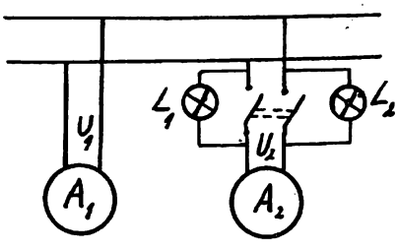
Notes diverses.

33ème Manipulation

Mise en parallèle des Alternateurs.

Notes préliminaires

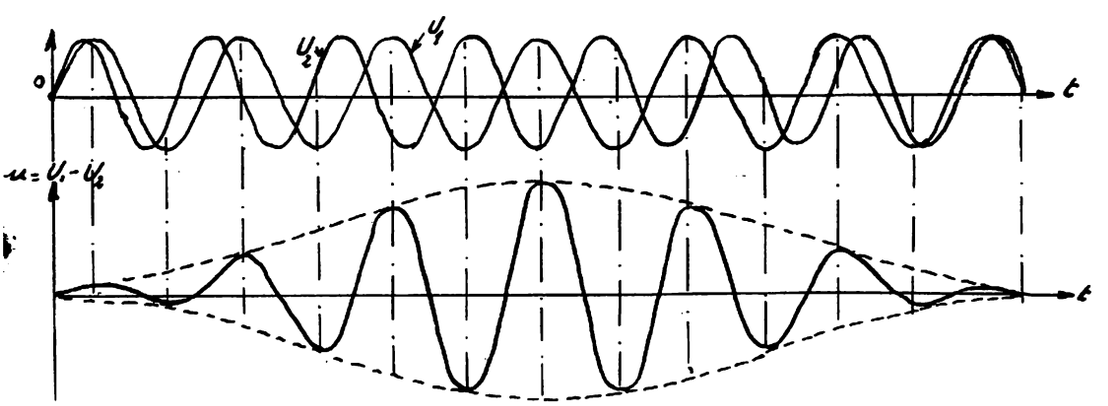
I. Cas des Alternateurs monophasés

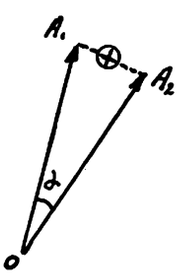


Pour réaliser la mise en //de A_2 sur A_1, il faut d'abord entraîner à sa vitesse normale l'alternateur A_2 et agir sur son rhéostat d'excitation jusqu'à ce qu'il engendre une tension U_2 égale à celle du réseau; l'égalité de U_1 et U_2 est vérifiée au moyen de 2 voltmètres. S'il s'agissait de dynamos C.C., on pourrait alors fermer l'interrupteur K pourvu que les polarités soient correctes. Ici, il faut encore que les fréquences de U_1 et U_2 soient égales et que leurs phases soient concordantes par rapport, au circuit extérieur.

Pour contrôler l'égalité des fréquences, on utilise un synchronoscope dont le type le plus simple est constitué de lampes à incandescence branchées entre les couteaux et les mâchoires de l'interrupteur associé à A_2; les lampes sont soumises à la différence instantanée des tensions U_1 et U_2.

Représentons sur un diagramme les tensions U_1 et U_2 en fonction du temps en supposant que leurs fréquences f_1 et f_2 sont légèrement différentes; sur un second diagramme, portons leur différence. On constate que les lampes sont soumises à des tensions variables selon des battements de fréquence : $f_m = f_1 - f_2$; les lampes accusent ainsi des battements d'autant plus rapides que f_1 et f_2 sont différentes. Il suffit de régler la fréquence de A_2, donc sa vitesse, pour que les battements cessent; alors : $f_1 = f_2$; $f_m = 0$; si les lampes restent constamment allumées, les tensions égales U_1 et U_2 sont en opposition de phase; si les lampes restent éteintes, il y a égalité de phase. On enclenche à l'extinction.



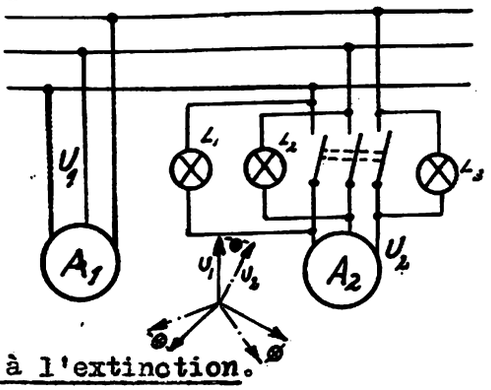


Le diagramme vectoriel de droite représente les tensions U_1 et U_2 ; les lampes sont soumises à leur différence: $OA_1 - OA_2$ (trait pointillé) qui, est nulle lorsque les deux vecteurs sont confondus c-à-d. quand les tensions sont en phase.

II. Cas des alternateurs triphasés

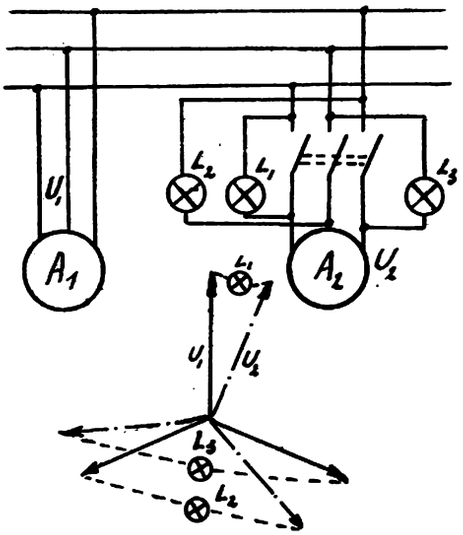
Les trois mêmes conditions sont exigées : tensions et fréquences égales et concordance de phase. Deux montages des lampes sont possibles:

a) MONTAGE A FEU BATTANT:



Les lampes sont connectées entre bornes homologues. Si les trois conditions sont remplies, les trois groupes de lampes sont éteints. Si les fréquences sont différentes, les lampes s'allument et s'éteignent en même temps (Feu battant). On agit sur la vitesse de l'alternateur à coupler pour réaliser l'égalité des fréquences (extinction = battement nul). On enclenche à l'extinction.
Si, au lieu d'un feu battant, on obtient un feu tournant, c'est parce que l'ordre de succession des phases n'est pas le même dans les deux alternateurs; il suffit alors de croiser deux fils de phase.

b) MONTAGE A FEU TOURNANT:



Ici, la tension appliquée aux lampes n'est plus égale à la différence des tensions homologues sauf pour une seule (L_1). Lorsque L_1 est éteinte, les deux autres brillent d'un même éclat. On dispose les trois lampes sur une circonférence; lorsque les fréquences sont différentes, on a l'impression de voir un feu tournant dans un sens ou dans l'autre suivant que l'alternateur A_2 avance ou retarde. On profite d'une longue extinction de L_1 pour enclencher.
Si, au lieu d'un feu tournant, on obtient un feu battant, c'est que l'ordre de succession des phases n'est pas le même dans les deux alternateurs; il suffit alors de croiser deux fils de phase.

REMARQUE: Chaque lampe doit pouvoir supporter une tension double de la tension de ligne.

Expérimentation:

A l'aide du tableau de mise en // prévu à cet usage, vérifier expérimentalement les notions précédentes.
Noter que les lampes sont dédoublées et placées deux à deux en série étant donné que chacune d'elles n'est prévue que pour supporter la tension d'une machine.
Dessiner le schéma du tableau de mise en // et les connexions à réaliser pour obtenir les deux montages.

Date:

Rapport de l'essai n°36

I. Préparation

a.) But de l'essai _____

_____

_____

_____

b) Machines étudiées _____

c) Schémas: 1. Montage à feu battant

2. Montage à feu tournant

d) Matériel utilisé

II. Exécution

III. Conclusions

Moteurs asynchrones.

Préliminaires théoriques

I. Vitesse du champ tournant statorique

$$N_s\,(t/min) = \frac{60 f_s}{p}$$

f_s : fréquence des courants statoriques

p : nombre de paires de pôles

N_s : vitesse (t/min.) du champ tournant statorique.

II. Glissement

Soit N_r la vitesse du rotor. On a : $g = \frac{N_s - N_r}{N_s}$ ou encore : $g = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s}$ il s'exprime en %.

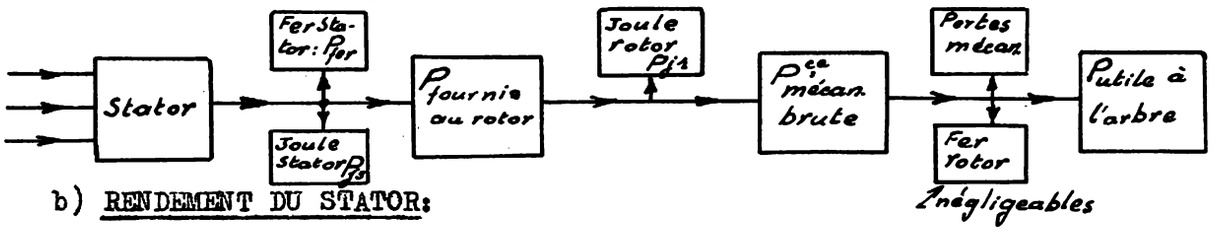
III. Fréquence des courants rotoriques.

Cette fréquence dépend de la vitesse N_s du synchronisme et de la vitesse N_r du rotor. Au point de vue de l'induction des courants dans le rotor, tout se passe comme si celui-ci était immobile et soumis à l'action d'un champ tournant statorique de vitesse : $N_s - N_r$. Le rotor est donc le siège du courant dont la fréquence est : $f_r = p \times \frac{N_s - N_r}{60}$ (application de la formule générale : $f = pN/60$). Pour calculer le glissement, il suffit donc de mesurer f_r et f_s . On a, en effet,

$$g = \frac{N_s - N_r}{N_s} = \frac{60 f_r}{p N_s} = \frac{60 f_r}{p} \times \frac{p}{60 f_s} = \frac{f_r}{f_s} \; ; \quad \underline{\underline{g = \frac{f_r}{f_s}}}$$

IV. Rendement

a) BILAN ENERGETIQUE:



b) RENDEMENT DU STATOR:

Les pertes statoriques comprennent :

1) les pertes Joule: $P_{js} = 1{,}5 R I^2$, R étant la résistance (à chaud) mesurée entre bornes du stator.

2) les pertes magnétiques: ou pertes fer, à peu près indépendantes de la charge parce que le flux du stator alimenté à tension constante est sensiblement invariable. Ces pertes sont fournies par l'essai à vide (courbe de Hummel). Le rendement du stator vaut donc :

$$\eta_s = \frac{P_{abs.} - (P_{js} + P_{Fer.\,st.})}{P_{abs.}} = \frac{P_{fournie\ au\ rotor}}{P_{abs.}}$$

3) Rendement du rotor: Si on néglige les pertes magnétiques du rotor, ce qui est légitime puisque la vitesse de celui-ci est très faible vis-à-vis du champ statorique, le rendement du rotor vaut :

$$\eta_r = \frac{P_{fournie\ au\ rotor} - (P_{j.r.} + P_{méc.})}{P_{fournie\ au\ rotor}}$$

La puissance fournie au rotor lui vient du champ statorique tournant à la vitesse angulaire ω_s ; le moment du couple transmis C_t du stator au rotor répond donc à la relation : $P_{fournie\ au\ rotor} = C_t \times \omega_s$

Le rotor fournit une puissance mécanique brute à la vitesse angulaire ω_r ; on a :

$$P_{méc.\ brute} = C_t \times \omega_r$$

La différence de ces deux puissances mesure les pertes Joule Rotoriques :

$$P_{jr} = C_t\,(\omega_s - \omega_r) = C_t\,\omega_s\,g \quad \text{c.-à-d.} \quad \underline{\underline{P_{jr} = P_{fournie\ au\ rotor} \times g}}$$

Les pertes Joule rotoriques sont donc proportionnelles au glissement.

Les pertes mécaniques sont données par l'ordonnée à l'origine de la courbe de Hummel.

Si, en première approximation, on les néglige, le rendement du rotor s'écrit :

$$\eta_r = \frac{P_{fournie\ au\ rotor} - P_{fournie\ au\ rotor} \times g}{P_{fournie\ au\ rotor}} \quad \text{c.-à-d.} \quad \underline{\underline{\eta_r = 1 - g}}$$

4) Rendement total:

Si l'on tient compte des pertes mécaniques, mais qu'on les fait intervenir dans l'expression du rendement statorique, le rendement total du moteur s'écrit:

$$\eta = \eta_s \times \eta_r = \underline{\underline{\frac{P_{abs} - (P_{js} + P_{fer\,st.} + P_{méc.})}{P_{abs}} \times (1-g)}}$$

V Moment du couple moteur utile

La puissance utile à l'arbre étant : $P_u = P_{abs} \times \eta$ et la vitesse angulaire du rotor étant : $\omega_r = \frac{2\pi N_r}{60}$, le moment du couple utile a pour valeur :

$$C = \frac{P_u}{\omega_r} = \frac{P_{abs} \times \eta}{2\pi N_r} \times 60 = \frac{P_{abs} \times \eta \times 60}{2\pi (1-g) N_s} \quad m\text{-}N.$$

ou encore, tenant compte que : $N_s = 60 f_s / p$:

$$C = \frac{P_{abs} \times \eta \times p}{(1-g) f_s \times 2\pi} \quad m\text{-}N.$$

Le couple utile C est un peu plus petit que le couple transmis; leur différence mesure le couple de frottement.

Remarque pratique:

Le rhéostat de démarrage d'un moteur asynchrone doit être manoeuvré lentement; il faut le ramener à sa position de départ dès qu'on arrête le moteur pour éviter un démarrage ultérieur en court-circuit.

34ème Manipulation

Mesure des résistances ohmiques.

I. Objet

Mesurer les résistances des enroulements du stator et du rotor par la méthode voltampèremétrique.

II. Schéma. Montage et Mode opératoire

a) ENROULEMENTS DU STATOR:

Alimenter séparément chaque phase statorique par une batterie d'accumulateurs en série avec un rhéostat (de démarrage) pour limiter le courant à 5 A.
Faire plusieurs lectures en changeant de l'une à l'autre la position du rhéostat.
Lire simultanément la tension aux bornes de la phase (voltmètre à touches) et le courant qui la parcourt.
Les enroulements étant couplés en $\curlywedge$, alimenter ensuite entre deux bornes pour mesurer la résistance combinée.

b) ENROULEMENTS DU ROTOR:

Les enroulements rotoriques étant couplés en $\curlywedge$, alimenter de la même façon entre deux bornes pour mesurer la résistance combinée prise :

1) entre les bagues sans balai.
2) entre les bornes (donc avec résistance de contact aux balais).

En déduire la résistance par phase.

III. Résultats

Les valeurs obtenues mesurent les résistances à froid. (Température ambiante)
Calculer les résistances à chaud.
La valeur de la résistance statorique sert dans le calcul du rendement et dans l'évaluation de la puissance fournie au rotor.
La valeur de la résistance rotorique ne sert pas dans le calcul du rendement mais elle sera utilisée ultérieurement pour déterminer l'intensité du courant rotorique connaissant les pertes par effet Joule du rotor, elles-mêmes calculées par la relation : $P_{jr} = P_{fournie\ au\ rotor} \times g$

IV. Examen de la plaque signalétique

Noter ci-dessous les indications de cette plaque.

Notes diverses.

Feuille d'essai n° 37

Résistances ohmiques

Moteur asynchrone n°

Phase	U		I		$R = \frac{U}{I}$	Observations
	lu	corrigé	lu	corrigé		
	k=		k=			
I. Enroulements statoriques						
II. Enroulements rotoriques						

Date:

Rapport de l'essai n° 37

I. Préparation

a. But de l'essai

b. Machine étudiée

c. Schéma

d. Matériel utilisé

II. Exécution

III. Résultats et Conclusions

35ème Manipulation

Essai en magnétisation

I. Objet

Relever la courbe de magnétisation $U = f(I)$ à fréquence constante.

II. Schéma et Montage

Le stator est relié aux trois bornes de sortie de la table d'essais. Un voltmètre, un ampèremètre avec T.i. et un wattmètre avec résistances additionnelles mesurent respectivement la tension, le courant et la puissance statoriques.
Un fréquencemètre contrôle la fréquence d'alimentation.
Le rotor reste à circuit ouvert.

III. Mode opératoire

Appliquer au stator des tensions variant de 0 à 1,1 fois la tension normale, la fréquence étant maintenue constante.
Le rotor étant ouvert, il reste à l'arrêt.
Lire simultanément : $U_{st.}$, $I_{st.}$ et P par la méthode des deux wattmètres et mesure en deux lectures.

IV. Résultats

Tracer, déduite de l'essai, la courbe de magnétisation du moteur.
On constatera que, pour la tension normale, le courant magnétisant est de l'ordre de 25 à 30% du courant normal.
La puissance mesurée en cours d'essai compense :

a) les pertes Joule statoriques.

b) les pertes fer dans le stator.

c) des pertes fer dans le rotor, qui étant à l'arrêt, est balayé par le champ statorique à la vitesse N_s ; à l'arrêt, les pertes fer dans le rotor sont plus importantes qu'en marche normale.
On comparera utilement les pertes fer totales mesurées dans cet essai en magnétisation et les pertes fer totales qui seront mesurées ultérieurement dans l'essai à vide.

Feuille d'essai n° 38

Essai en magnétisation

Moteur asynchrone n°

f.	U		I		P Partielles		P totale	Obs.
	lu	corrigé	lu	corrigé	lu	corrigé		
	k=		k=		k=			

Notes diverses.

Date:

Rapport de l'essai n° 38

I. Préparation

a.) But de l'essai

b) Machine étudiée

c) Schéma

d) Matériel utilisé

II Exécution

III Résultats et Conclusions

36ème Manipulation

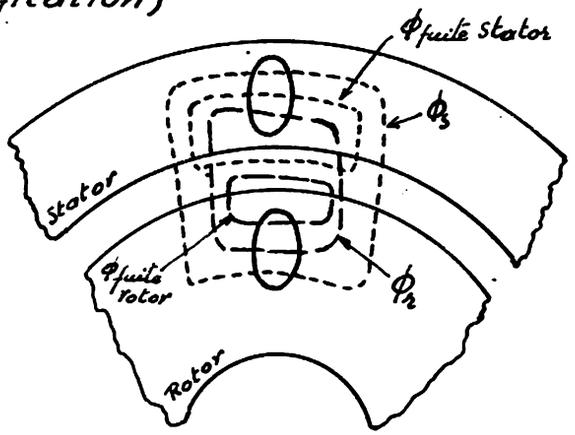
Mesure du rapport de transformation

I. Objet

Un moteur asynchrone à rotor ouvert, alimenté au stator, se comporte comme un transformateur de très mauvaise qualité en raison des fuites magnétiques considérables (entrefer) dont il est le siège.

Les mesures du rapport de transformation exécutées par alimentation du stator puis du rotor mettent en évidence l'influence de l'entrefer.

II. Schéma et Montage (justification)



a) ALIMENTATION PAR LE STATOR:

Le courant $I_{stat.}$ produit un flux $\gamma_s \Phi_s$ dont une partie seulement Φ_s traverse le rotor. On a donc sensiblement : $U_{1st} \cong K_s n_s \gamma_s \Phi_s$

$U_{2rot.} \cong K_r n_r \Phi_s$

d'où : $\frac{U_2}{U_1} = \frac{K_r n_r}{K_s n_s \gamma_s} = \tau_1$

K_s et K_r sont des facteurs dépendant de la nature des enroulements.

n_r : nombre de spires du rotor.

n_s : nombre de spires du stator.

γ_s : coefficient de dispersion du stator.

b) ALIMENTATION PAR LE ROTOR:

Le courant $I_{rot.}$ produit un flux $\gamma_r \Phi_r$ dont une partie seulement Φ_r coupe le stator. On a donc sensiblement : $U_{2rot.} \cong K_r n_r \gamma_r \Phi_r$

$U_{1st.} \cong K_s n_s \Phi_r$

d'où : $\frac{U_1}{U_2} = \frac{K_s n_s}{K_r n_r \gamma_r} = \tau_2$

avec γ_r : coefficient de dispersion du rotor.

Si les coefficients de dispersion γ_s et γ_r étaient unitaires, c-à-d. s'il n'y avait pas de fuites magnétiques, le produit $\tau_1 \times \tau_2$ serait aussi unitaire (cas des transformateurs).

Si ces coefficients étaient égaux, $\gamma_s = \gamma_r$ mais différents de 1 ,le produit $\tau_1 \times \tau_2$ serait encore égal à 1.

Mais dans la plupart des cas, $\gamma_s \neq \gamma_r$ et alors le produit $\tau_1 \tau_2$ qui vaut $\frac{1}{\gamma_s \gamma_r}$ est aussi $\neq$ de 1 .

III. Mode opératoire

a) Le rotor étant ouvert et à l'arrêt, alimenter le stator en triphasé à la fréquence normale sous une tension U_1 par phase.
Lire la tension U_2 (par phase) au rotor. Faire plusieurs mesures en changeant de l'une à l'autre la valeur de U_1.

b) Le stator étant déconnecté, alimenter le rotor en triphasé à la fréquence normale sous une tension U_2 (par phase).
Lire la tension U_1 (par phase) au stator. Faire plusieurs mesures en changeant de l'une à l'autre la valeur de U_2.

IV Résultats

Les résultats des mesures sont synthétisées sous la forme de 2 valeurs: ζ_1 et ζ_2. Comparer ces valeurs. Calculer leur produit.

Feuille d'essai n° 39

Rapport de transformation

Moteur asynchrone n°

f	U_1 stator		U_2 rotor		τ	Observations
	lu	corrigé	lu	corrigé		
	I. Alimentation par le stator					
	k=		k=		$\tau_1 = \frac{U_2}{U_1}$	
	II. Alimentation par le rotor					
					$\tau_2 = \frac{U_1}{U_2}$	

Date:

Rapport de l'essai n° 39

I Préparation

a) But de l'essai.

b) Machine étudiée

c) Schémas

d) Matériel utilisé

II. Exécution

III Résultats et Conclusions

37ème Manipulation

Essai à vide

I. Objet

1) Tracer la courbe des pertes magnétiques et mécaniques de la machine et séparer ces pertes.

2) Calculer le facteur de puissance à vide.

3) Vérifier que le sens de rotation change suite à un croisement de deux conducteurs d'amenée au stator.

4) Mesurer le glissement à vide.

II. Schéma et montage

Connecter le stator aux bornes de sortie de la table d'essais. Un voltmètre, un ampèremètre avec T.i., un wattmètre et un fréquencemètre mesurent ses conditions d'alimentation.
Le rotor est relié à son rhéostat de démarrage.

III. Mode opératoire

a) PREPARATION:

1) Ouvrir les trois interrupteurs généraux de la table d'essais; les enroulements statoriques sont ainsi isolés.
2) Régler la tension et la fréquence d'alimentation à l'entrée de la table à leurs valeurs normales.
3) Vérifier que le rhéostat de démarrage du moteur se trouve sur sa position de résistance maximum.

b) EXPERIMENTATION:

1) Fermer en même temps les trois interrupteurs généraux d'alimentation; le rotor démarre; amener lentement le rhéostat de démarrage dans sa position de court-circuit. Noter le sens de rotation.
2) Faire varier la tension d'alimentation de 220 à environ 50 volts; ne pas descendre plus bas sinon le moteur décroche.
La fréquence étant maintenue invariable, lire simultanément:
U_{stator} , I_{stator} , P (méthode des 2 wattmètres).
Ces mesures serviront au tracé de la courbe de Hummel.
3) Couper l'alimentation et croiser deux connexions d'amenée au stator; redémarrer le moteur comme précédemment et noter le sens de rotation.

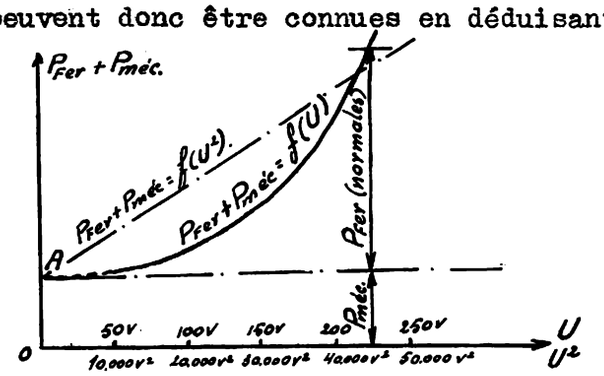
4) Le moteur alimenté à tension normale et tournant à vide, mesurer son glissement par la méthode du millivoltmètre. La justification de la méthode est donnée ci-après.

IV Résultats

1) COURBE DE HUMMEL:

En considérant que la vitesse d'un moteur asynchrone varie peu dans les limites du fonctionnement normal, on peut admettre que les pertes mécaniques restent constantes quelle que soit sa charge. D'autre part, à vide, la puissance absorbée par le moteur compense : les pertes Joule statoriques, les pertes magnétiques et mécaniques et les pertes Joule rotoriques. Ces dernières sont à négliger car, à vide, le glissement est très faible donc les courants rotoriques également.

Les pertes magnétiques et mécaniques peuvent donc être connues en déduisant de la puissance absorbée mesurée, les pertes Joule statoriques calculées.



Tracer la courbe $P_{Fer} + P_{méc.} = f(U)$. Cette courbe prolongée jusqu'au point A où elle rencontre l'axe des ordonnées détermine l'ordonnée à l'origine OA représentant les pertes mécaniques car alors: $U = 0$ et la machine ne porte plus aucun flux donc ses pertes magnétiques sont nulles.

La parallèle à l'axe des abscisses menée par A permet de séparer les pertes mécaniques des pertes fer pour n'importe quelle tension appliquée.

Tracer la courbe $P_{Fer} + P_{méc.} = f(U^2)$; on doit obtenir sensiblement une droite passant par le point A. Les pertes fer sont en effet sensiblement proportionnelles au carré de l'induction donc au carré de la tension appliquée.

2) FACTEUR DE PUISSANCE A VIDE:

Calculer le facteur de puissance à vide du moteur alimenté à tension normale; ce facteur est faible.

3) SENS DE ROTATION:

On constate que le croisement de deux fils d'alimentation du stator provoque une inversion du sens de rotation.

4) GLISSEMENT A VIDE:

Le glissement à vide est très faible.

JUSTIFICATION DE LA METHODE DU MILLIVOLTMETRE POUR LA MESURE DU GLISSEMENT.

L'emploi d'un tachymètre pour mesurer la vitesse du rotor donne des résultats peu précis quant à la valeur du glissement. Cela résulte du fait que la différence de vitesse $N_s - N_r$ est très petite et toute erreur de lecture a pour conséquence une erreur importante sur le glissement.

La méthode du millivoltmètre n'est applicable qu'aux moteurs à rotor bobiné. On branche un millivoltmètre à courant continu polarisé (à aimant permanent) entre deux bornes du rotor après mise en court-circuit du rhéostat de démarrage (appareil à touches). La faible chute de tension créée par le courant rotorique entre les points de contact suffit pour faire osciller le millivoltmètre à la fréquence des courants rotoriques. Celle-ci étant faible, l'aiguille de l'appareil peut suivre les variations de la tension entre bornes et oscille de part et d'autre du zéro. On note le nombre d'oscillations doubles n pendant un temps t secondes. On donne le " top " et on compte 0 lorsque l'aiguille atteint une élongation positive maximum, on compte 1 lors du passage suivant par cette même position et ainsi de suite, pendant le temps t compté à partir du moment où l'on a prononcé 0.

La fréquence rotorique vaut alors : $f_2 = \frac{n}{t}$

D'où : $g = \frac{f_2}{f_3} = \frac{n}{t f_3}$

REMARQUE:

Nous donnerons, par la suite, la justification d'une deuxième méthode de mesure de g spécialement utilisée pour les moteurs à cage : la méthode stroboscopique.

Feuille d'essai n° 40

Essai à vide . Courbe de Hummel

Moteur asynchrone n°

f	U		I		$P_{Partielles}$		P_{totale}	RI^2	$P_{Fer+Méc.}$	Obs.

Notes diverses.

Date:

Rapport de l'essai n° 40

I. Préparation

a) But de l'essai

b) Machine étudiée

c) Schéma

d) Matériel utilisé

II. Exécution

III. Résultats et Conclusions

38ème Manipulation

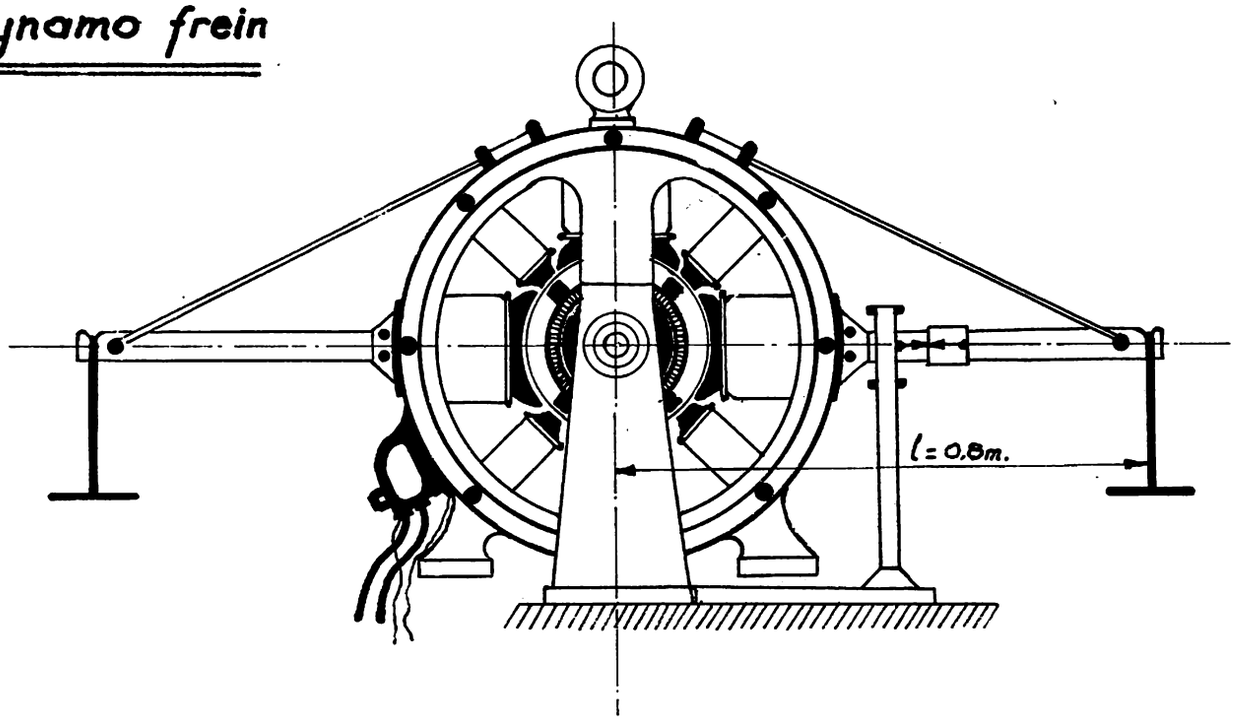
Essai en charge

I. Objet

Déterminer expérimentalement tous les facteurs intéressant le fonctionnement du moteur en charge alimenté à tension et fréquence normales, à savoir :

U, $I_{(stator)}$, $P_{abs.}$, f_s, g, C, P_u et η

Dynamo frein



II. Schéma et Montage

Le moteur asynchrone est accouplé mécaniquement à une dynamo-frein. Ses enroulements statoriques sont connectés aux bornes de sortie de la table d'essais; les bornes d'entrée de celle-ci sont raccordées au réseau triphasé 220 volts; le stator sera donc alimenté par le réseau et non comme précédemment par les générateurs C.A.
Disposer dans le circuit un voltmètre, un fréquencemètre, un ampèremètre (T.i.) et un wattmètre (méthode de 2 wattmètres; mesure en deux coups).
Connecter le rotor à ses résistances de démarrage.
Raccorder l'enroulement d'excitation C.D. de la dynamo au réseau C.C. 110 v. par l'intermédiaire d'un rhéostat de champ et de l'interrupteur bipolaire du réseau CC.
Connecter les bornes A et H de son induit aux résistances de décharge fixes prévues

à cet usage.
Raccorder la lampe à néon stroboscopique aux bornes du stator et placer le disque du stroboscope sur l'arbre du rotor.
Le schéma est représenté sur la feuille de rapport.

III. Mode opératoire

a) PREPARATION:

Vérifier la position correcte du rhéostat de démarrage (max. de résistance). Enclencher l'interrupteur tripolaire du réseau; le moteur démarre; amener lentement le rhéostat de démarrage sur sa position de court-circuit.

Le moteur tourne ainsi en entraînant la dynamo-frein qui, n'étant pas excitée (car l'interrupteur bipolaire est ouvert) ne débite pas. Les frottements dans les paliers tendent à faire tourner la carcasse de la dynamo avec l'induit. On rétablit l'équilibre par le déplacement judicieux du contre-poids mobile.

b) EXPERIMENTATION:

1) Essai à 4/4 charge:

Exciter la dynamo; celle-ci débite alors dans les résistances de décharge. Régler son excitation de façon à obtenir le courant normal au stator(34 A.). Sous l'action du couple électromagnétique (voir justification ci-après) la carcasse se déplace de nouveau dans le sens de rotation du rotor.
Equilibrer le plateau par des poids p . Lire simultanément : U, I, f, P_{abs}.
Mesurer le glissement par les deux méthodes :

du millivoltmètre (à touches)
du stroboscope (voir justification plus loin)

2) Essai à 3/4 charge:

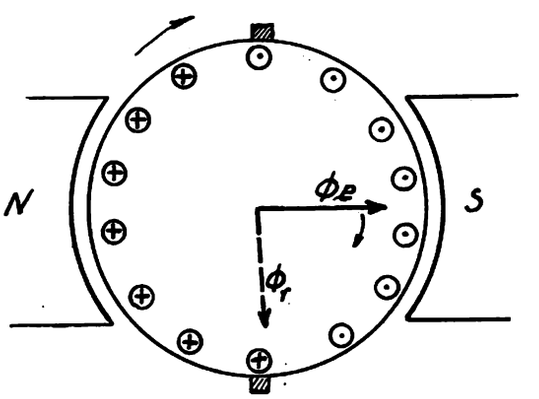
Remplacer le poids p par un poids $3/4\,p$; la carcasse se déplace de nouveau à fond de course. Déexciter la dynamo jusqu'à rétablir l'équilibre.
Lire simultanément : U, I, f, P_{abs}.
Mesurer le glissement par les deux méthodes.

3) Essais à 2/4 et 1/4 charge:

Procédé identique.

IV. Justifications

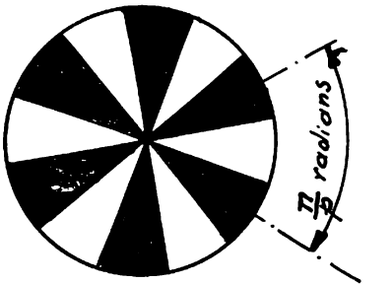
1) ROTATION DE LA CARCASSE DE LA DYNAMO-FREIN.



Il y a naissance d'un couple entre le flux de réaction d'induit ϕ_r , de direction invariable et le flux inducteur ϕ_e qui peut se déplacer puisque la carcasse est mobile.
En vertu de la règle de Maxwell, ϕ_e tend à se superposer à ϕ_r ; en d'autres termes,

il y a naissance d'un couple qui tend à faire tourner la carcasse dans le sens de rotation; ce couple est d'autant plus intense que ϕ_r et ϕ_2 sont grands c-à-d. finalement que l'excitation de la dynamo est intense.

2) MESURE DU GLISSEMENT PAR LA METHODE STROBOSCOPIQUE.



Cette méthode est applicable aux deux types de moteurs, à cage et à rotor bobiné.
Un disque de carton est fixé sur l'arbre du moteur; il porte $2p$ secteurs blancs et $2p$ secteurs noirs ($2p$ = nombre de pôles, 6 dans le cas de la machine du labo.)
On l'éclaire au moyen d'une lampe à arc ou à néon (à la rigueur une lampe à incandescence) alimentée par l'une des phases de la source d'alimentation du moteur, donc à la fréquence f_s .
L'intensité lumineuse de la lampe est maximum quand la tension est maximum U_{max}; pour un réseau de fréquence f_s (50 Hz), il y a, par seconde $2f_s$ (100) allumages et $2f_s$ (100) extinctions.
Si le rotor tournait à la vitesse du synchronisme, le disque paraîtrait immobile car pendant l'intervalle de temps qui sépare deux éclats successifs, chaque secteur noir prend exactement la place occupée par le précédent; en effet, pendant $\frac{1}{2f_s} = \frac{1}{100}$ sec., chaque disque tourne de $\frac{N_s}{60} \times \frac{1}{100}$ tours ou $\frac{f_s}{p} \times \frac{1}{100}$ tours.
C'est-à-dire $\frac{1}{2p}$ tours ou encore de $\frac{\pi}{p}$ radians.
Si le moteur tourne à une vitesse N_r moindre que N_s , le disque semble tourner en sens inverse du sens de rotation du rotor parce que chaque secteur se déplace alors d'un angle inférieur à $\frac{\pi}{p}$.

Calcul du glissement.

Pendant l'intervalle de temps $\frac{1}{2f_s} = 0{,}01$ séparant deux éclats vifs successifs, chaque secteur a tourné d'un angle: $\frac{\pi}{p} \times \frac{N_r}{N_s}$; toutefois, l'oeil paraît le voir tourner de: $\frac{\pi}{p} - \frac{\pi}{p} \times \frac{N_r}{N_s} = \frac{\pi}{p}\left(1 - \frac{N_r}{N_s}\right) = g \cdot \frac{\pi}{p}$ radians
La vitesse angulaire de ce mouvement de rotation apparent vaut donc :
$\omega = \frac{g\pi/p}{1/2f_s} = \frac{2\pi g f_s}{p}$ ce qui correspond à $\frac{g f_s}{p}$ tours/sec.
Par seconde, on verra donc défiler: $\frac{g f_s}{p} \times 2p$ secteurs noirs. c-à-d. : $2g f_s$.
Si l'on compte n secteurs noirs pendant t secondes, on peut donc écrire :

$$\frac{n}{t} = 2g f_s \quad \text{d'où} \quad \underline{\underline{g = \frac{n}{2 f_s t}}}$$

V Calculs et Résultats

a) CALCUL DES GLISSEMENTS.

Calculer les glissements aux différentes charges obtenus par l'application des deux méthodes et comparer les résultats.

b) CALCUL DU MOMENT DU COUPLE UTILE (par les résultats d'essai)

Le moment du couple de frottement de la dynamo étant négligeable, on peut considérer que le couple mesuré C est égal au couple utile du moteur qui répond à la formule connue: $C = p_{(poids)} \times l_{(distance)} = p \times 0{,}8\ kgm = p(kg) \times 0{,}8 \times 9{,}81\ m.N.$

Calculer ce couple aux différentes charges envisagées.

c) CALCUL DU RENDEMENT (par les résultats d'essai).

Calculer les rendements aux diverses charges envisagées par application de la formule: $\eta = \frac{P_u}{P_{abs}} = \frac{C\omega_2}{P_{abs}} = \frac{C.2\pi.N_2}{60\,P_{abs}} = \frac{C \times \pi \times (1-g)N_s}{30\,P_{abs}}$

avec dans le cas actuel: N_s =1000 t/min.

A noter que dans cette formule, C doit être exprimé en $m.N$ (ou Joule-couple), si la puissance absorbée l'est en watts. (système M.K.S.A.).

d) CALCUL DU FACTEUR DE PUISSANCE.

Calculer les $\cos.\varphi$ correspondant aux diverses charges envisagées, soit en consultant la courbe: $\cos.\varphi = f(\frac{P_1}{P_2})$, soit en appliquant la formule: $\cos.\varphi = \frac{P_{abs}}{UI\sqrt{3}}$

e) COURBES CARACTERISTIQUES.

Tracer avec les axes de coordonnées confondus, les courbes illustrant , en fonction de la puissance utile, les variations : du couple utile, du rendement, du facteur de puissance, de l'intensité absorbée et du glissement.

Les ordonnées à l'origine des 3 dernières courbes (ordonnées pour P_u =0) sont données par l'essai à vide dont la manipulation 37 a fait l'objet.

Tracer sur une 2ème feuille millimètrée, la courbe du couple en fonction du glissement.

f) PERTES JOULE ROTORIQUES

Calculer les pertes Joule rotoriques aux diverses charges par application de la formule: $P_{j2} = P_{fournie\ au\ rotor} \times g$

Des valeurs P_{j2} ainsi calculées, déduire celles des courants rotoriques; constater que le courant rotorique augmente avec le glissement.

Comparer les rapports $\frac{I_{stator}}{I_{rotor}}$ aux différentes charges; ces rapports sont sensiblement égaux ce qui permet de conclure qu'un moteur asynchrone est assimilable à un transformateur.

VI. Vérification des résultats d'essais

Déterminer les valeurs des rendements et des couples, par l'application des formules établies dans les préliminaires théoriques et comparer les valeurs obtenues avec les résultats d'essais:

1°) $\eta = \frac{P_{abs} - (P_{js} + P_{Fer\,st.} + P_{méc.})}{P_{abs.}}(1-g)$

les pertes Joule statoriques seront calculées; les pertes fer et mécaniques seront tirées de la courbe de Hummel.

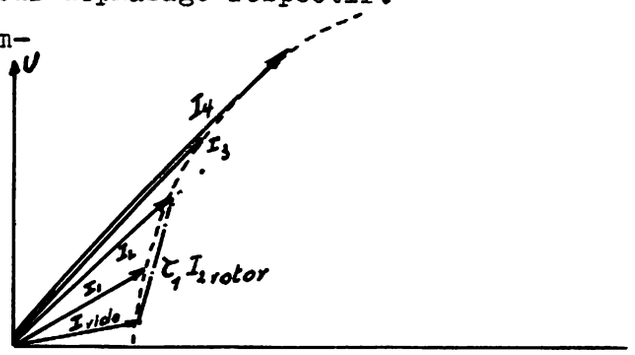
2°) $C = \dfrac{P_{abs} \times 5 \times p}{(1-g) f_s \times 2\pi}$ m.N.

avec ici, p =nombre de paires de pôles.

VII. Diagramme vectoriel

A partir des résultats d'essais, tracer les vecteurs tension d'alimentation et les vecteurs courant statorique avec leur déphasage respectif.

Pour ce tracé on choisira le vecteur U comme axe de reférence: *commun*:



U , I_{vide} , φ_{vide}

U , I_1 , φ_1 à 1/4 charge.

U , I_2 , φ_2 à 1/2 charge.

U , I_3 , φ_3 à 3/4 charge.

U , I_4 , φ_4 à 4/4 charge.

On démontre que:

a) le lieu des extrémités des vecteurs I est un arc de cercle (diagramme du cercle du moteur asynchrone)

b) le vecteur joignant l'extrémité de I_{vide} et l'extrémité d'un vecteur I quelconque (I_2 par exemple) mesure le courant rotorique multiplié par le rapport de transformation, soit: $\tau_1 \times I_{2\,rotor}$

Mesurer sur le diagramme les valeurs de $\tau_1 I_{rotor}$ aux différentes charges; la valeur de τ_1 étant connue (voir la 36ème manipulation), calculer I_{rotor} et comparer ces valeurs avec celles trouvées sous f) ci-devant.

Feuille d'essai n° 41

Essai en charge

Moteur asynchrone n°

U		I		$P_{partielles}$		P_{totale}	n/t	n/2t	g	p	$C_{mesuré}$
lu	corr.	lu	corr.	lu	corr.		mVolt m	Strob.			
k=		k=		k=							

Notes diverses.

Notes diverses.

Notes diverses.

Date:

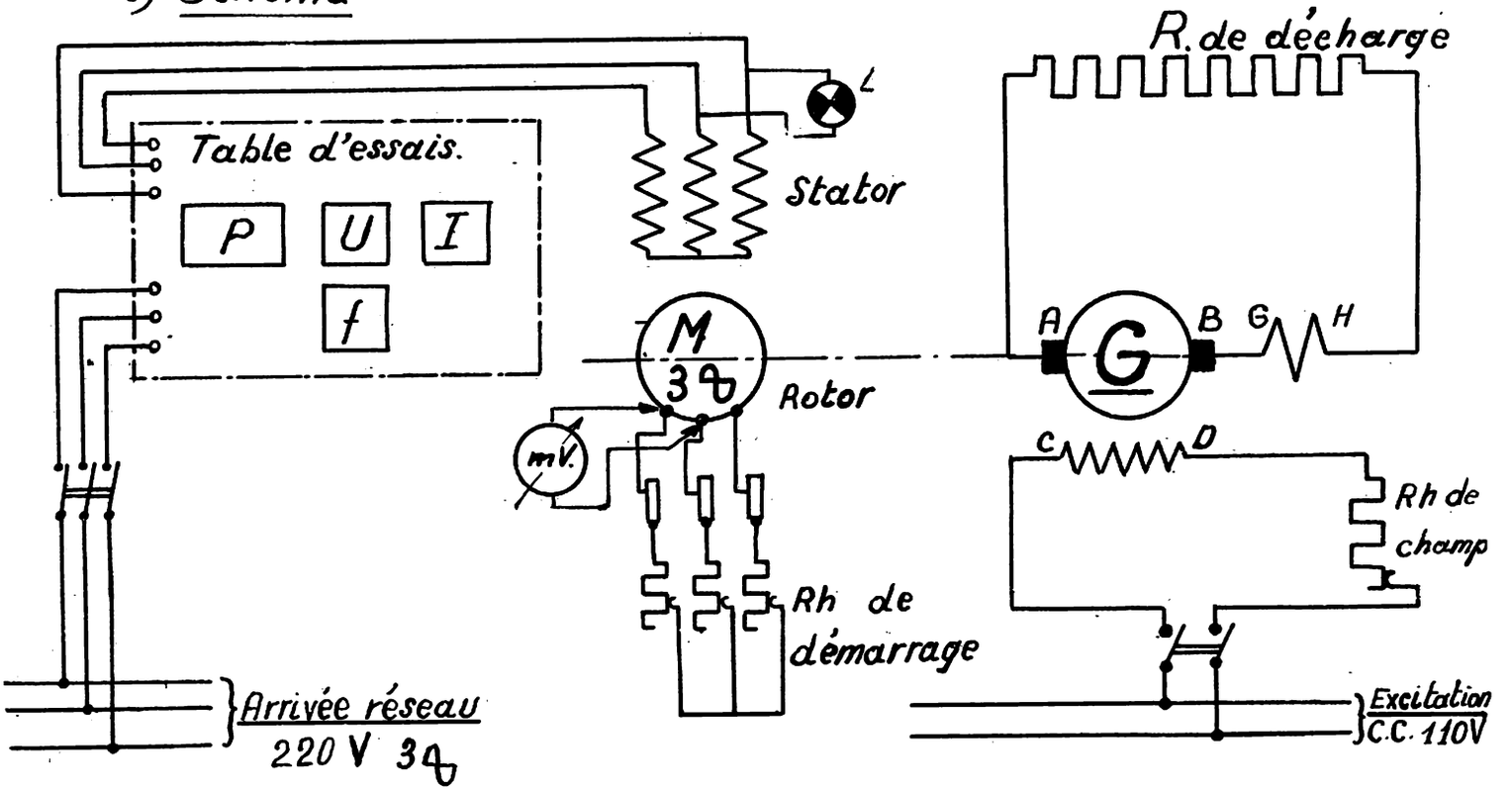
Rapport de l'essai n° 41

I Préparation

a) But de l'essai

b) Machine étudiée

c) Schéma



d) Matériel utilisé

II. Exécution

III. Résultats et Conclusions

Moteur asynchrone synchronisé

39ème Manipulation

Essai en charge à couple constant (courbes V)

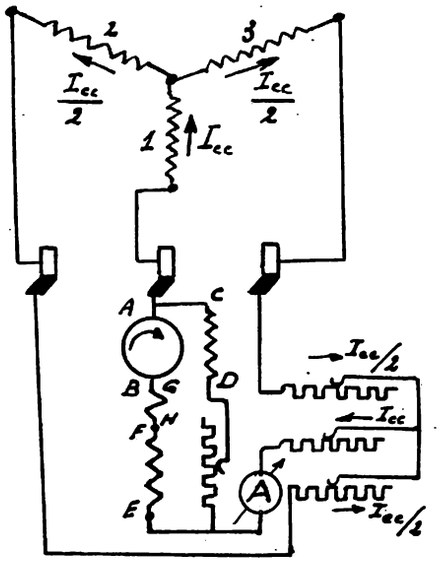
I. Objet

Relever les courbes en V à vide et en charge, à couple constant (ou à puissance utile constante) comme on les envisage pour les moteurs synchrones.

II Schéma et Montage.

L'unique différence entre le câblage d'un moteur asynchrone et celui d'un asynchrone synchronisé est la présence de l'excitatrice avec son rhéostat dans le circuit rotorique. Cette excitatrice, choisie compound concordant pour favoriser l'amorçage, donc la synchronisation, se trouve, en pratique, en bout d'arbre du moteur principal. Au laboratoire, elle sera entraînée par un moteur asynchrone auxiliaire; sa tension aux bornes sera variée par décalage des balais.

Installer dans le circuit d'alimentation du moteur, un voltmètre, un wattmètre, un ampèremètre (avec T.i.) et un fréquencemètre. Disposer un ampèremètre à courant continu dans le circuit de la phase rotorique parcourue par le courant total.



III. Mode opératoire

a) PREPARATION:

Démarrage et synchronisation.

Court-circuiter l'ampèremètre à courant continu. Démarrer le moteur à vide (accouplement mécanique hors service) en asynchrone ordinaire; il s'approche de la vitesse du synchronisme sans l'atteindre; son glissement est très faible.

Mettre l'ampèremètre à courant continu en service qui est alors traversé par le courant alternatif rotorique d'intensité et de fréquence faibles; l'aiguille de l'appareil bat lentement.

Démarrer ensuite le groupe auxiliaire et faire débiter par l'excitatrice, un courant I_{cc} de valeur telle que le couple synchronisant qu'il crée soit suffisant pour produire l'accrochage. A ce moment I_{cc} ne bat plus puisque le courant qui

traverse l'enroulement rotorique est du courant continu (après accrochage le courant alternatif rotorique est en effet inexistant).

b) EXPERIMENTATION:

1) Le moteur fonctionnant ainsi en moteur synchrone à vide, varier le courant I_{cc} (entre 42 et 2 A. environ) par la manoeuvre du dispositif de décalage des balais de l'excitatrice; pour chaque valeur de I_{cc}, lire simultanément la tension U (qui doit rester constante), l'intensité statorique I et la puissance absorbée P ; ces résultats fournissent la courbe en V et la courbe des facteurs de puissance $\cos\varphi$ à vide.

2) Réaccoupler le moteur à la dynamo-frein non excitée et redémarrer le groupe en asynchrone ordinaire. Après démarrage, l'ampèremètre rotorique (I_{cc}) bat encore faiblement et lentement.

Exciter la dynamo-frein de façon à ce que le moteur asynchrone absorbe son courant normal (environ 34 A.); l'ampèremètre C.C. bat beaucoup plus fortement et plus rapidement; c'est parce que le glissement est plus important qu'à vide.

Synchroniser ensuite la machine comme précédemment et varier I_{cc} dans les limites du régime synchronisé sans changer l'excitation de la dynamo-frein dont la puissance fournie reste ainsi constante.

Limiter I_{cc} à une valeur maximum telle qu'il y corresponde un courant de 34 A. environ au stator.

3) Mêmes opérations mais pour une excitation de la dynamo-frein telle que le courant statorique absorbé en régime asynchrone soit égal à celui mesuré au cours de l'essai en charge en asynchrone ordinaire, exécuté à 1/2 charge.

IV. Résultats

Les résultats d'essais permettront de tracer :

a) les courbes en V du moteur synchrone,, $I = f(I_{cc})$, pour 3 valeurs maintenues constantes de la puissance utile (ou du couple puisque la vitesse reste constante: synchrone).

b) les courbes des facteurs de puissance $\cos\varphi = f(I_{cc})$ pour ces mêmes puissances utiles.

La comparaison des courbes en V montre que :

1) ces courbes sont plus pointues quand la puissance demandée au moteur est moindre.

2) les points d'intensité minimum absorbée se rapprochent de l'axe des ordonnées quand le moteur fournit une puissance mécanique moindre; la réaction d'induit dans le moteur est en effet plus faible et il faut une plus petite excitation pour la compenser. La ligne des minima d'intensité absorbée s'incline vers la droite au fur et à mesure que la puissance augmente.

3) le décrochage a lieu pour des intensités I_{cc} d'autant plus faibles que la puissan-

ce est faible;la marge possible de variation de l'excitation sans décrochage est plus grande quand le moteur est peu chargé.

4) les minima d'intensité absorbée correspondent à des facteurs de puissance unitaires ($\cos.\varphi = 1$).

REMARQUES

a) Répartition de I_{ec} (voir figure page 235)

Remarquer que le courant d'excitation I_{ec} traverse la phase en série avec l'excitatrice ; les deux autres phases , de résistances égales,sont parcourues par la moitié de I_{ec} ,soit: $I_{ec}/2$

En pratique on équipe les 3 phases rotoriques du même nombre de spires mais,pour des raisons d'échauffement,la section des conducteurs de la phase en série avec l'excitatrice est double des autres.

b) Création du champ continu rotorique.

Le champ rotorique est la résultante de 3 champs composants:

1) le champ de la phase 1,traversée par le courant total I_{ec},dirigé de l'extrémité au neutre de cette phase;par convention considérons le positif.

Soit H_1 ce champ,de direction $\perp$ au plan de la phase 1 et de sens positif.

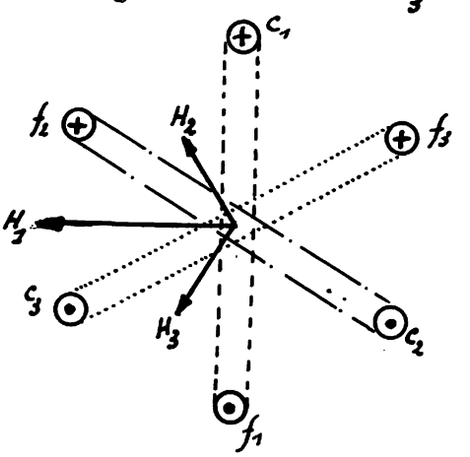
2) le champ de la phase 2 ,traversée par le courant $I_{ec}/2$,dirigé du neutre vers l'extrémité,donc négatif ;sa valeur est: $H_2 = \frac{H_1}{2}$

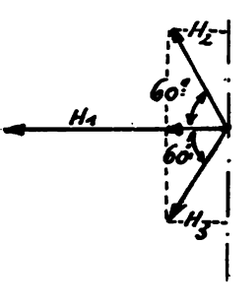
3) le champ de la phase 3 ,traversée par le courant $I_{ec}/2$,dirigé aussi du neutre vers l'extrémité,donc négatif;le champ est négatif de valeur: $H_3 = H_1/2$

Or les 3 phases sont décalées dans l'espace de 120° électriques l'une par rapport à l'autre; pour une machine à 2 pôles la disposition géométrique des champs composants prend l'allure de la figure;le champ résultant vaut:

$$H = H_1 + H_2 \cos 60° + H_3 \cos 60° = H_1 + (H_2 + H_3)\cos 60° = 1{,}5\, H_1$$

Ce champ fixe par rapport au rotor tourne avec lui (principe du moteur synchrone).





Feuille d'essai n° 42

Essai en charge à couple constant

Moteur asynchrone synchronisé n°

1. A vide.

U		I		$P_{partielles}$		P_{totale}	I_{cc}		cos φ	Obs.
lu	corr.	lu.	corr.	lu	corr.		lu	corr.		
k=		k=		k=			k=			

U		I		$P_{Partielles}$		P_{totale}	I_{cc}		cos φ	Obs.
lu	corr.	lu	corr.	lu	corr.		lu	corr.		
k_2		k_2		k_2			k_2			
2. A 4/4 charge										
3. A 1/2 charge										

Date:

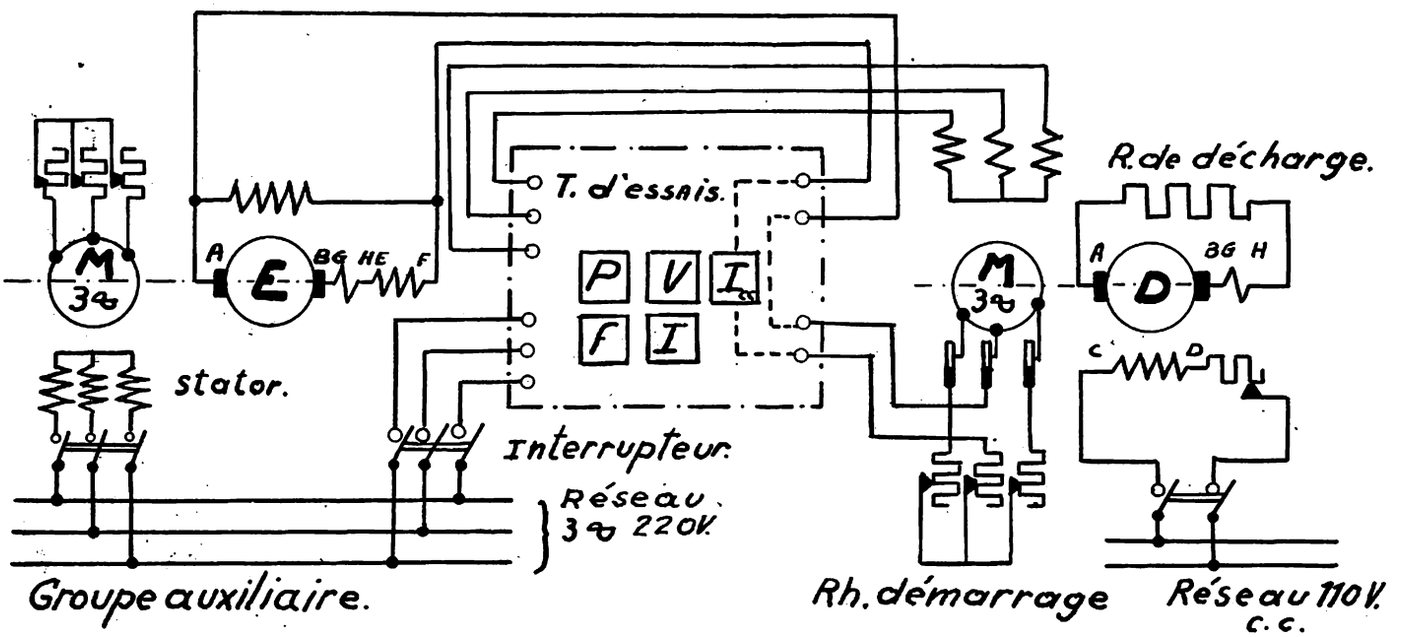
Rapport de l'essai n°42

I. Préparation

a) But de l'essai

b) Machine étudiée

c) Schéma.



d) Matériel utilisé

II. Exécution

III Resultats et Conclusions

40ème Manipulation

Essai en charge à excitation constante

I. Objet.

L'excitation I_{cc} étant maintenue constante, déterminer les variations du courant statorique et du facteur de puissance en fonction de la charge mécanique.

II. Schéma et Montage

Identiques à ceux de l'essai N° 42.

III. Mode opératoire.

a) PREPARATION:

Le moteur asynchrone est accouplé mécaniquement à la dynamo-frein non excitée. Démarrer le groupe à vide, en moteur asynchrone ordinaire, l'ampèremètre C.C. étant court-circuité.

Démarrer le groupe auxiliaire et régler le courant d'excitation rotorique à une valeur de l'ordre de 32 A.

b) EXPERIMENTATION:

Le courant d'excitation I_{cc} étant maintenu constant, varier l'excitation de la dynamo-frein, donc la puissance utile du moteur, dans les limites permises, ce que l'on réalise en limitant l'intensité maximum statorique à 34 A.

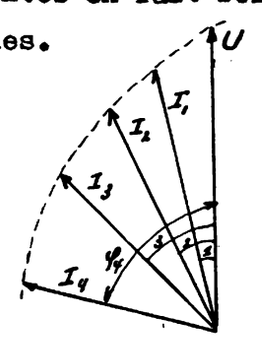
Relever simultanément les valeurs de : U (constant), I_{cc} (constant), I et P .

IV. Résultats

Déterminer les valeurs correspondantes du facteur de puissance $\cos\varphi$; celui-ci varie fortement avec la charge utile du moteur; favorable à forte charge, il diminue avec celle-ci.

Le courant statorique varie aussi, mais dans des limites beaucoup plus étroites parce que le courant d'excitation choisi est assez intense; la verticale d'abscisse 32 A. élevée sur le réseau de courbes en V précédentes en fait foi et illustre de plus le caractère capacitif des courants statoriques.

V. Diagramme vectoriel



Mettre les résultats d'essai sous la forme d'un diagramme vectoriel. Choisir pour cela quelques valeurs conjugées de U, I et $\cos\varphi$ et les traduire vectoriellement, la tension étant prise comme vecteur de référence commun.

Feuille d'essai n° 43

Essai en charge à excitation constante

Moteur asynchrone synchronisé n°

U		I		$P_{Partielles}$		P_{totale}	I_{cc}		cos φ	Obs.
lu	corr.	lu	corr.	lu	corr.		lu	corr.		
k=		k=		k=			k=			

Notes diverses.

Date:

Rapport de l'essai n° 43

I Préparation

a) But de l'essai

b) Machine étudiée

c) Schéma

d) Matériel utilisé

II Exécution

III Résultats et Conclusions

41ème Manipulation

Bobinage statorique. C.A.

I. Objet

Relever le schéma d'enroulement du stator d'un moteur asynchrone triphasé.

II. Caractéristiques du bobinage.

Nombre total d'encoches : Par phase :

Nombre total de bobines : Par phase :

Nombre total de sections : Par phase :

Déduire : le nombre de pôles :

la vitesse du champ tournant si f = 50 Hz.

Pourquoi y a-t-il une bobine croquée ?

Examiner l'exécution du bobinage quant au sens d'enroulement, aux liaisons de bobine à bobine, aux entrées et sorties de phase et au couplage (genre d'enroulement)

III. Schémas du bobinage.

a) tracer le schéma de bobinage développé, en ne dessinant qu'un conducteur par rainure. Sur ce schéma, noter :

1) le sens de cheminement en partant de l'entrée de chaque phase.
2) le sens des courants à l'instant où l'un d'eux est maximum dans une phase.
3) la figuration des pôles du champ résultant dans l'entrefer en ce même moment.

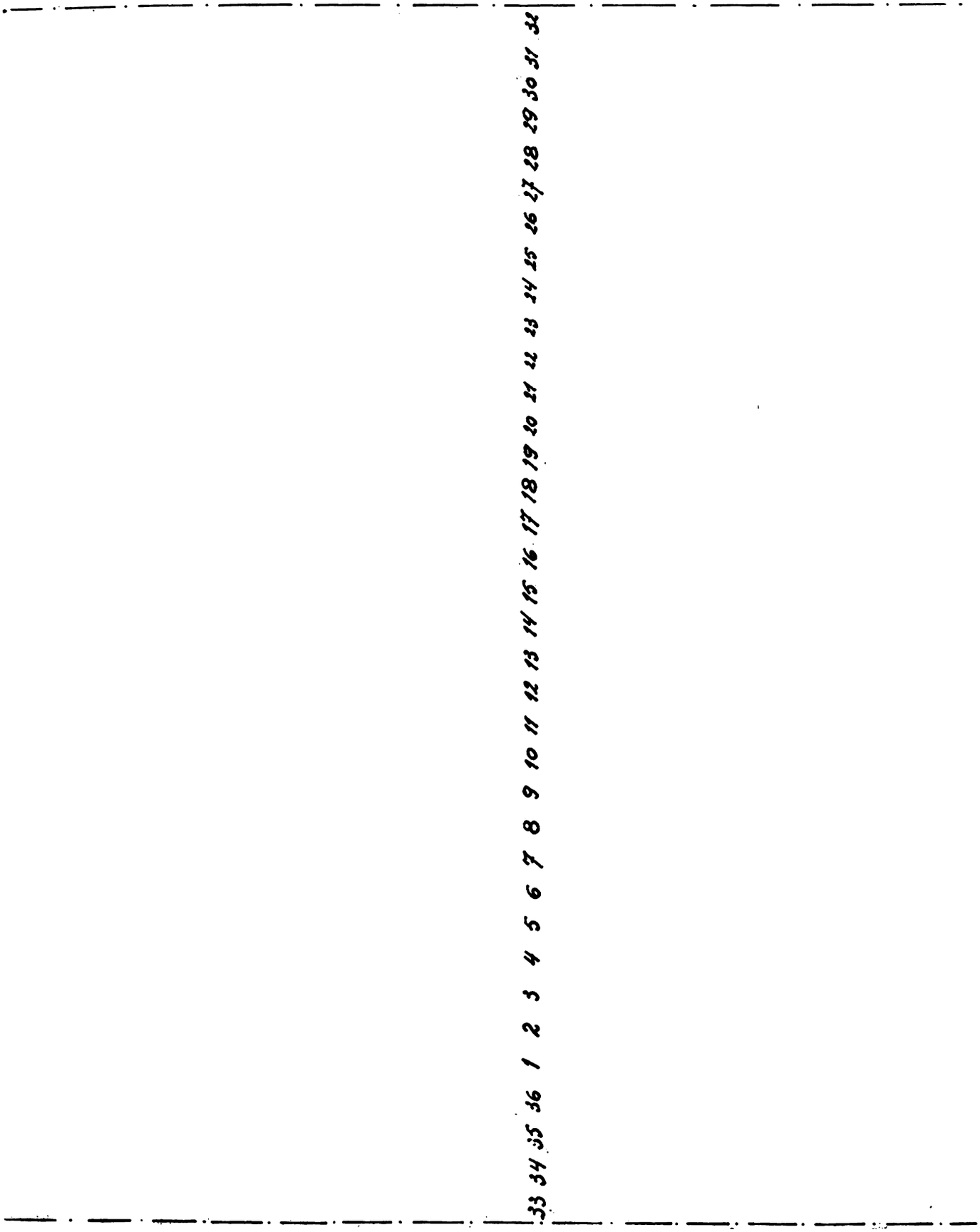
Comparer le sens du cheminement et le sens des courants.

b) tracer le schéma du bobinage non développé, c-à-d. vu de face et noter :

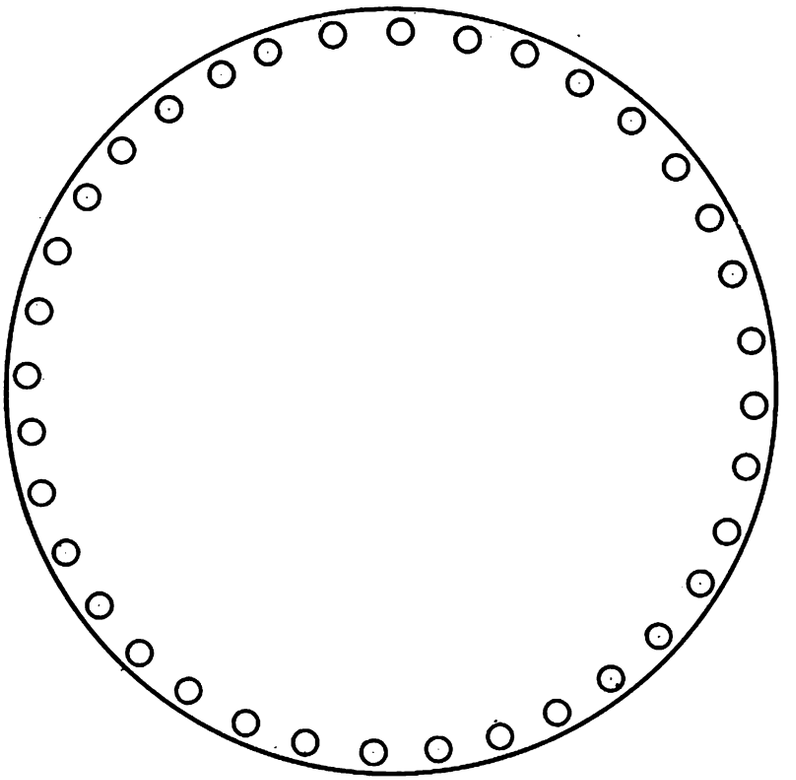
1) le sens des courants à l'instant envisagé ci-dessus.
2) la direction du champ tournant résultant à ce même moment.
3) le sens de rotation de ce champ tournant en s'imposant l'ordre de succession, dans le temps, des tensions triphasées appliquées aux bornes.

N.B. : Pour la clarté et la bonne compréhension des schémas, les conducteurs de la phase 1 seront dessinés en couleur noire, ceux de la phase 2 en rouge et ceux de la phase 3 en bleu.

Bobinage développé



Bobinage non développé (vu de face)



PRIX :

Elèves	100 Fr.
Etrangers	150 Fr.